

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis previa a la obtención del título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

**TEMA:**

**"ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE VOLTAJE POR IMPACTO DE GENERACIÓN  
DISTRIBUIDA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE QUITO"**

**AUTOR:**

LENIN MARCELO FREIRE SANCHEZ

**DIRECTOR:**

DIEGO ANIBAL ARIAS CAZCO

Quito, octubre de 2014

Ing. Diego Aníbal Arias Casco.

**CERTIFICA:**

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos del informe de la tesis "ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE VOLTAJE POR IMPACTO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA CIUDAD DE QUITO" realizada por el Sr Lenin Marcelo Freire Sánchez, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Facultad de Ingenierías – Carrera Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autorizo su presentación.

Quito 30 de Octubre 2014

---

**Ing. Diego Aníbal Arias Casco.**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA:**

Yo Lenin Marcelo Freire Sánchez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el documento.

Los conceptos desarrollados, guías metodológicas y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 30 de Octubre del 2014

---

**Lenin Marcelo Freire Sánchez**  
**CC: 1721255394**

**AUTOR**

## **AGRADECIMIENTO.**

*Principalmente agradezco a Dios, porque sin la guía de él, nada en mi vida hubiese sido posible.*

*Al Ing. Diego Aníbal Arias Casco que con sus conocimientos ha podido guiarme durante todo el desarrollo del presente trabajo.*

*Agradezco el haber podido conocer y ser parte de la comunidad Salesiana que hace posible que miles de jóvenes seamos hombres de bien que aportan al desarrollo de la patria.*

## **DEDICATORIA.**

*A mi pequeña hija Oriana Beatriz, quien es la principal motivación de superación en mi vida, ella durante todo su periodo de gestación me supo demostrar lo maravilloso que es la vida de un ser humano, y la lucha constante por sobrevivir, ahora que la tengo conmigo, comprendo que el regalo más hermoso que Dios puede dar a los padres, son los hijos.*

*A mi Padre Guillermo Freire por el apoyo incondicional y los consejos que me han sabido guiar durante toda mi vida, a mi Madre Pilar por haberme dado la vida, y acompañado durante toda mi etapa de formación académica.*

*A mi Esposa Jessenia que supo entender que el tiempo y la dedicación a la investigación eran necesarias para lograr culminar esta etapa de mi vida.*

*Lenin Marcelo Freire Sanchez*

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El constante crecimiento de la demanda de energía eléctrica a nivel mundial, y la gran industrialización son los factores principales para considerar que el uso de Generación Distribuida (GD) en la red de distribución es necesario para aliviar la demanda de energía eléctrica. Al realizar la conexión de GD a la Red de Distribución (RD) se presenta como principal problema el aumento de tensión, especialmente en zonas rurales con alta Impedancia ( $Z$ ) y baja Reactancia/Resistencia ( $X/R$ ).

En algunos casos la GD trae como consecuencia una inversión del flujo de potencia, es decir que la GD, entrega a la RD una potencia mayor a la necesaria a ser utilizada aguas abajo. Cuando esto ocurre se evalúan los siguientes aspectos:

- Pérdidas.

Considerando que las mayores pérdidas se encuentran en la RD, ya que el calibre del conductor es menor en consecuencia posee una resistencia mayor presentándose el fenómeno de las pérdidas de Joule.

- Capacidad Térmica.

Considerando que los elementos de la RD, como conductores, transformadores, seccionadores poseen una capacidad de transporte de energía limitada, cuando se someten por periodos prolongados a una sobrecarga, esta produce un calentamiento excesivo afectando a su capacidad térmica lo que puede producir un daño permanente.

La función del operador de una subestación es abastecer la demanda con un nivel de voltaje constante, lo cual se puede ver perturbado por la salida de potencia del (GD) que puede causar una elevación del nivel de voltaje existente en la RD. Dado este inconveniente, un GD debería operar con un arreglo de factor de potencia (f.d.p) o con potencia reactiva igual a cero para poder regular el nivel de la salida de voltaje.

Por lo tanto para realizar la conexión de GD a la RD, se hace necesaria la coordinación de los equipos de control de tensión y de potencia reactiva.

## **JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.**

En el planeta se evidencia una fuerte preocupación por que se utilizan aún combustibles fósiles o derivados del petróleo, que contribuyen con gran cantidad de emisión de gases invernadero que afectan directamente al ambiente del planeta, en respuesta directa a esta problemática se han realizado convenios a nivel mundial, con la finalidad de comprometer a las naciones a reducir el nivel de contaminación que se manifiesta, muestra clara de esto es el tratado de Kioto que es un protocolo en el cual el propósito fundamental, es reducir las emisiones de gases que causan el efecto invernadero, es decir cada año las naciones reducen un porcentaje de las emisiones de gases contaminantes, para llegar a cumplir con este objetivo se fomenta diferentes proyectos de generación de energía eléctrica limpia, renovable, la investigación de cómo optimizar el uso de las redes eléctricas existentes [1].

Muestra de esto es la Generación Distribuida (GD), que consiste básicamente en la generación de energía eléctrica por medio de muchas pequeñas fuentes de energía, la particularidad de la GD es que se encuentra instalada en puntos cercanos al consumo.

Por este criterio de construcción, se reduce tanto la longitud, como el número de conductor que se utiliza para abastecer la carga, por la cercanía que tiene. La forma de generación puede ser eólica, solar, de combustión, entre otras tecnologías utilizadas, que tienen diferentes niveles de generación de energía eléctrica, lo que hace indispensable analizar cómo mantener estable el nivel de voltaje de la RD, cuando se genera una operatividad con la GD.

## **ALCANCE.**

Con la finalidad de analizar en estado dinámico e identificar mediante simulaciones los factores eléctricos que pueden causar una inestabilidad del nivel de voltaje en una Red de Distribución, se contempla en el siguiente trabajo la normativa constructiva basada en el lineamiento que da la EEQ S.A.

Para lo que contempla la Generación Distribuida se toma como referencia el Estándar IEEE 1547 *“Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems”*.

## **OBJETIVOS.**

### **General.**

Analizar la estabilidad de voltaje por impacto de generación distribuida con la utilización de simulación en redes de distribución de la ciudad de Quito.

### **Específicos**

1. Investigar sobre el uso de la GD en la RD verificando sus aplicaciones y beneficios en una Smart Grid.
2. Analizar dinámicamente mediante simulación los diferentes casos en los que la RD se puede ver afectada por la integración de la GD, identificando variables que pueden producir una variación en el nivel de voltaje en la RD.
3. Según los resultados obtenidos en las simulaciones identificar cuáles son las variables más relevantes que pueden afectar a la estabilidad y el nivel de voltaje de la RD.
4. Realizar recomendaciones en cuanto a las afectaciones que producen las variables de la GD al nivel de voltaje y la estabilidad de la RD.

## **HIPOTESIS.**

Con la investigación propuesta y el análisis de las simulaciones se logrará identificar de forma técnica cuáles son específicamente las variables que la Generación Distribuida deberá tener en cuenta para la conexión a la Red de Distribución.



## **ESQUEMA DE CONTENIDOS.**

### **CAPÍTULO I**

#### **TÍTULO: GENERACIÓN DISTRIBUIDA.**

- 1.1 Generación distribuida.
- 1.2 Tecnologías de la generación distribuida.
- 1.3 Estado del arte sobre estabilidad de tensión con integración de generación distribuida en redes de distribución
- 1.4 Normativa nacional e internacional (IEEE 1547).

### **CAPÍTULO II**

#### **TÍTULO: RED ELECTRICA DE DISTRIBUCIÓN Y FENÓMENOS DINÁMICOS**

- 2.1 Impacto en la estabilidad de tensión por la generación distribuida en las redes de distribución.
- 2.2 Factores dinámicos que afectan la estabilidad del voltaje en la red de distribución.
- 2.3 Metodología de análisis del problema.
- 2.4 Gestión del recurso de generación distribuida para minimizar el impacto en la estabilidad de tensión.

### **CAPÍTULO III**

#### **TÍTULO: CASO ESTUDIO Y SIMULACIONES**

- 3.1 Planteamiento de casos a ser simulados.
- 3.2 Caso 1: análisis en un sistema ilustrativo.
- 3.3 Caso 2: análisis del problema en un alimentador primario.
- 3.4 Análisis de las variables involucradas.

## CAPÍTULO IV

### TÍTULO: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- 4.1. Análisis de resultados
- 4.2. Límites de generación distribuida en alimentador primario.
- 4.3. Condiciones de operación de generación distribuida.
- 4.4. Evaluación del impacto.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

## RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se realiza la investigación acerca de la estabilidad de voltaje por la integración de generación distribuida a la red de distribución.

Actualmente el uso de generación distribuida a nivel mundial, es un objetivo inminente ante el calentamiento global que presenta el planeta, tomando en consideración el uso de combustibles fósiles utilizados durante décadas para la producción de energía eléctrica.

En el Ecuador el uso de generación distribuida, se encuentra en pleno desarrollo, muestra de esto son los proyectos eléctricos con energías renovables que el gobierno nacional impulsa a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

El uso de generación distribuida a nivel de las redes de distribución, es un hecho inminente ante el avance tecnológico que presenta este tipo de tecnologías así como el interés que los usuarios por su utilización.

La normativa vigente en cuanto a la utilización de generación distribuida es muy general y no presenta una normativa detallada en cuanto a requerimientos técnicos para la instalación, límites de operación, beneficios tanto para el usuario como para las empresas eléctricas de distribución, entre otros requerimientos que son fundamentales para que la utilización de esta tecnología no represente un riesgo al nivel de voltaje de la red de distribución.

En el estudio del arte referente a la generación distribuida se consideran las principales tecnologías que son utilizadas en la generación distribuida con fuentes de energía primaria renovable. Sin embargo para el análisis en el software se ha utilizado la generación distribuida eólica y solar.

El software DigSilent permite realizar simulaciones en las cuales se va a representar diferentes escenarios de sistemas eléctricos los cuales se encuentran conformados por carga así como también por generación distribuida.

De acuerdo a diferentes parámetros como el nivel de demanda, el nivel de generación, topología de la red, distribución de carga entre otros, se realiza las simulaciones, para

evaluar el comportamiento del nivel de voltaje en la red de distribución.

Con los resultados que se obtiene a partir de las simulaciones se describe el comportamiento del nivel de voltaje por la integración de generación distribuida, a su vez se evalúa cuáles son los principales atenuantes para que el nivel de voltaje en la red de distribución tenga un cambio en su nivel.

Se compara los resultados obtenidos con el estándar IEEE 1547, para verificar los parámetros que la normativa sugiere para que los sistemas no tengan un efecto negativo en el nivel de voltaje y se produzca un colapso del sistema.

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA: .....	III
AGRADECIMIENTO. ....	IV
DEDICATORIA. ....	V
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	VI
JUSTIFICACIÓN DEL TEMA. ....	VII
ALCANCE. ....	VII
OBJETIVOS. ....	VIII
ESQUEMA DE CONTENIDOS. ....	IX
ÍNDICE GENERAL .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
CAPÍTULO I.....	1
1 Generalidades de la Generación Distribuida .....	1
1.1 Generación Distribuida .....	1
1.1.1 Antecedentes .....	1
1.1.2 Factores que Promueven el Desarrollo de Generación Distribuida .....	2
1.1.3 Concepción Contemporánea de los Sistemas de Potencia .....	3
1.1.4 Definición de Generación Distribuida (GD) .....	4
1.1.5 Regulación de la Generación Distribuida en el Ecuador .....	6
1.1.6 Generación Distribuida en el Ecuador.....	8
1.2 Tecnologías de la Generación Eléctrica .....	15
1.2.1 Fuentes de Generación Convencionales .....	16
1.2.2 Fuentes de Generación no Convencionales .....	19
1.3 Estado del Arte Sobre Estabilidad de Tensión con Integración de Generación Distribuida en Redes de Distribución .....	24
1.3.1 Generalidades .....	24
1.3.2 Consideraciones en la Operación de la Red de Distribución .....	24
1.3.3 Regulación de Voltaje en una RD .....	25
1.3.4 Control del Nivel de Voltaje en una RD .....	26
1.3.5 Análisis de la Integración de Generación Distribuida a la Red de Distribución.....	28
1.4 Normativa Nacional e Internacional (IEEE 1547).....	30
1.4.1 Generalidades para la normativa.....	31
1.4.2 Introducción.....	31
1.4.1 Condiciones.....	34
CAPÍTULO II.....	36
2 Red Eléctrica de Distribución y Fenómenos Dinámicos .....	36
2.1 Impacto en la Estabilidad de Tensión por la Generación Distribuida en las Redes de Distribución 36	
2.1.1 Parámetros que intervienen en la integración de GD.....	37

2.1.2	Criterios para la Integración de GD .....	39
<b>2.2</b>	<b>Factores Dinámicos que Afectan la Estabilidad del Voltaje en la Red de Distribución. ....</b>	<b>40</b>
2.2.1	Respuesta del Generador Eléctrico. ....	41
2.2.2	Comportamiento del Viento en Generadores Eólicos .....	42
2.2.3	Comportamiento de la Energía Solar Fotovoltaica. ....	44
<b>2.3</b>	<b>Metodología de Análisis .....</b>	<b>45</b>
2.3.1	Análisis Energético .....	45
2.3.2	Análisis Eléctrico.....	46
2.3.3	Tratamiento Estadístico de Datos .....	47
2.3.4	Utilización de curva PV .....	49
2.3.5	Análisis en Régimen Estacionario.....	52
<b>2.4</b>	<b>Gestión del Recurso de Generación Distribuida Para Minimizar el Impacto en la Estabilidad de Tensión. ....</b>	<b>53</b>
2.4.1	Generadores Eólicos.....	53
2.4.2	Paneles Fotovoltaicos .....	57
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>.....</b>	<b>58</b>
<b>3</b>	<b>Caso Estudio y Simulaciones.....</b>	<b>58</b>
<b>3.1</b>	<b>Planteamiento de Casos a ser Simulados.....</b>	<b>58</b>
3.1.1	Software a Utilizarse .....	58
3.1.2	Análisis de Estabilidad de Voltaje utilizando DIgSilent. ....	59
3.1.3	Característica de la Demanda .....	59
3.1.4	Modelamiento de Generador Eólico.....	60
3.1.5	Modelamiento de Generación Fotovoltaica.....	64
<b>3.2</b>	<b>Caso Esquemático de Estudio. ....</b>	<b>69</b>
3.2.1	Escenario 1 .....	69
3.2.2	Escenario 2 .....	73
3.2.3	Escenario 3 Sistema con Paneles Fotovoltaicos. ....	81
<b>3.3</b>	<b>Caso 2: Análisis del problema en un Alimentador Primario .....</b>	<b>86</b>
<b>3.4</b>	<b>Análisis de las Variables Involucradas.....</b>	<b>91</b>
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>93</b>
<b>4.1</b>	<b>Análisis de Resultados .....</b>	<b>93</b>
4.1.1	Escenario 1 .....	93
4.1.2	Escenario 2 .....	94
4.1.3	Escenario 3: Sistemas Fotovoltaicos. ....	98
4.1.4	Caso 2: Alimentador Primario.....	99
<b>4.2</b>	<b>Límites de Generación Distribuida en Alimentador Primario .....</b>	<b>100</b>
<b>4.3</b>	<b>Condiciones de Operación de Generación Distribuida .....</b>	<b>102</b>
<b>4.4</b>	<b>Evaluación del Impacto .....</b>	<b>103</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>.....</b>	<b>105</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>.....</b>	<b>107</b>
<b>Anexo 1</b>	<b>.....</b>	<b>111</b>

<b>Anexo 2 .....</b>	<b>115</b>
----------------------	------------

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema eléctrico de potencia unidireccional.....	1
Figura 2 Tipos de Sistemas Eléctricos de Potencia (Tradicional y Smart). ....	3
Figura 3 Sistema eléctrico de potencia con GD integrada.....	4
Figura 4 Sistema eléctrico de potencia, ilustrado con generación distribuida.....	5
Figura 5 Infraestructura en Generación para el plan de Expansión de Generación 2013 -2020. ....	8
Figura 6 Porcentaje Anual de Generación Eléctrica Según el tipo de Fuente Primaria de Energía. ....	10
Figura 7 Porcentaje de Generación Renovable y no Renovable según el tipo de Fuente de Generación.....	10
Figura 8 Cobertura Eléctrica Empresas Distribuidoras Fuente Conelec. ....	11
Figura 9 Ejemplo de Instalación de Paneles fotovoltaicos Proyecto Eurosolar. ....	13
Figura 10 Vista de Aerogeneradores Parque Nacional Villonaco. ....	15
Figura 11 Elementos básicos Generador Estacionario (Motor de Combustión Interna). ....	17
Figura 12 Esquema Básico de componentes Turbina de Gas Simple.....	18
Figura 13 Principio de Funcionamiento Motor Stirling. ....	19
Figura 14: Diagrama de bloques Principio de Funcionamiento de un aerogenerador. ....	20
Figura 15 Tipos de aerogeneradores por el posicionamiento de sus aspas.....	20
Figura 16 Componentes Básicos de un Aerogenerador. ....	21
Figura 17 Esquema Básico componentes panel solar. ....	23
Figura 18 Componentes básicos de un arreglo fotovoltaico. ....	23
Figura 19 Sistema de Distribución Radial. ....	26
Figura 20: IEEE P1547.2 series of standards for interconnection. ....	34
Figura 21 Parámetros para la integración de GD. ....	37
Figura 22 Energía extraíble del viento según la ley de Betz. ....	43
Figura 23 Diagrama de bloques generador eólicos.....	43
Figura 24 Tipos de Análisis con GD.....	45
Figura 25 Herramientas de análisis utilizadas.....	46
Figura 26: Curva PV.....	49
Figura 27 Punto crítico en la curva PV.....	50
Figura 28 Condiciones de la curva PV.....	50
Figura 29 Margen de Cargabilidad de la Curva PV.....	51
Figura 30 Diferentes configuraciones de sistemas de generación para generadores eólicos. ....	55
Figura 31 Configuración aerogenerador de rotor bobinado DFIG.....	56
Figura 32 Curva demanda de potencia usuarios residenciales.....	60
Figura 33 Anemómetro de cazoletas.....	61
Figura 34 Atlas eólico del Ecuador. ....	62
Figura 35 Curva promedio de velocidad de viento de acuerdo a análisis de datos históricos. ....	63
Figura 36 Curva de Capabilidad Aerogenerador. ....	64
Figura 37 Estaciones Meteorológicas Inamhi Iñaquito. ....	65
Figura 38 Heliofanógrafo Inamhi Estación Iñaquito.....	65
Figura 39 Atlas Solar Ecuador. ....	67
Figura 40 Promedio mensual de radiación ( $W/m^2$ ).....	68
Figura 41 Diagrama ilustrativo sistema en análisis. ....	70
Figura 42 Diagrama Unifilar caso esquemático de estudio ..... 70	70
Figura 43 Sistema operando en DigSilent caso esquemático de estudio..... 70	70
Figura 44 Voltaje Fase – Fase y Fase - Neutro en la RD caso esquemático de estudio..... 71	71
Figura 45 Acercamiento Regulación nivel de voltaje Figura 44. .... 72	72
Figura 46 Niveles de potencia de la RD caso esquemático de estudio. .... 72	72
Figura 47 Curva demanda de potencia usuarios residenciales..... 73	73
Figura 48 Metodología utilizada para análisis en escenario 2. .... 74	74
Figura 49 Esquema Escenario 2..... 74	74
Figura 50 Voltaje en la Barra de BT escenario 2 baja demanda. .... 75	75
Figura 51 Niveles de Voltaje en los nodos de la RD escenario 2 baja demanda. .... 76	76



Figura 52 Potencia suministrada por el transformador trifásico escenario 2 baja demanda. ....	77
Figura 53 Escenario 2 Sistema alta demanda. ....	78
Figura 54 Nivel de Voltaje Barra BT escenario 2 alta demanda. ....	79
Figura 55 Niveles de Voltaje en nodos de la RD escenario 2 alta demanda. ....	80
Figura 56 Potencia suministrada por el transformador trifásico escenario 2 alta demanda. ....	81
Figura 57 Hora pico utilizada para escenario 3. ....	81
Figura 58 Metodología análisis para escenario 3. ....	82
Figura 59 Esquema básico escenario 3. ....	82
Figura 60 Esquema de simulación con paneles fotovoltaicos. ....	83
Figura 61 Nivel de Voltaje en la Barra de BT escenario 3. ....	84
Figura 62 Nivel de tensión en nodos del sistema escenario 3. ....	85
Figura 63 Potencia Suministrada por el transformador escenario 3. ....	85
Figura 64 Metodología análisis para el Caso 2. ....	86
Figura 65 Esquema básico caso 2. ....	87
Figura 66 Nivel de voltaje en alimentador primario. ....	88
Figura 67 Voltaje en nodos de BT caso 2. ....	89
Figura 68 Nivel de potencia alimentador primario caso 2. ....	90
Figura 69 Curva P V escenario 2 simulaciones con baja demanda. ....	91
Figura 70 Curva P –V escenario 2 simulación alta demanda. ....	92
Figura 71 Curva PV escenario 3 sistemas fotovoltaicos. ....	92
Figura 72 Nivel de voltaje Escenario 1. ....	94
Figura 73 Puntos de la curva utilizados en el escenario 2. ....	94
Figura 74 Nivel de voltaje barra BT escenario 2 baja demanda. ....	95
Figura 75 Nivel de voltaje en Nodos de la RD escenario 2 baja demanda. ....	96
Figura 76 Nivel de voltaje escenario 2 alta demanda. ....	97
Figura 77 Gráfica comparativa niveles de voltaje escenario 2. ....	97
Figura 78 Niveles de voltaje nodo 4 escenario 2. ....	98
Figura 79 Nivel de voltaje escenario 3. ....	98
Figura 80 Nivel de voltaje en barras Caso 2. ....	99
Figura 81 Factores que afectan al nivel de voltaje en una RD. ....	100
Figura 82 Interfaz DIgSILENT Power Factory. ....	111
Figura 83 Acceso PowerFactory. ....	112
Figura 84 Entorno de trabajo PowerFactory. ....	112
Figura 85 Elementos eléctricos en PowerFactory para ser utilizados en diagramas unifilares. ....	113
Figura 86 Plano para gráficas en PowerFactory. ....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Indicadores de Potencia Efectiva en el Ecuador – Fuente Conelec 2012 .....	9
Tabla 2 Valores de generación en Ecuador según el tipo de generación primaria.....	9
Tabla 3 Proyectos Emblemáticos Generación Eléctrica Ecuador.....	14
Tabla 4 : Regulación No. Conelec – 004/01, Límites de Nivel de Voltaje. ....	27
Tabla 5: Niveles de voltaje establecidos para despeje con protecciones. ....	33
Tabla 6 Histograma niveles de radiación solar. ....	68
Tabla 7: Características técnicas proyecto Euro – Solar. ....	69
Tabla 8 Niveles de voltaje establecidos para despeje con protecciones. ....	102

# CAPÍTULO I

## Generalidades de la Generación Distribuida

### 1.1 Generación Distribuida

#### 1.1.1 Antecedentes

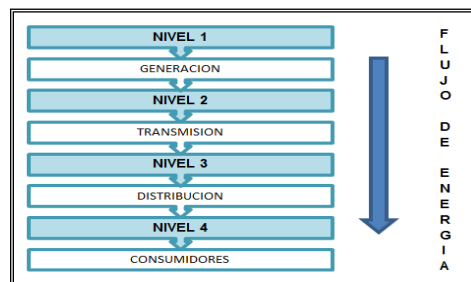
Inicialmente cuando la energía eléctrica se estableció tal como un servicio básico, en las ciudades o asentamientos poblacionales, las empresas eléctricas encargadas de proveer el suministro necesario, iniciaron sus operaciones de generación muy cerca de la carga, desde sus inicios la generación eléctrica se planteó un margen de reserva para el crecimiento futuro de la carga[2].

Consecuentemente con el advenimiento de la era industrial, la demanda aumentó de tal forma que esto obligó a las empresas generadoras a instalarse cerca de la fuente primaria de energía, ya sea esta agua, minas de carbón, refinerías, etc.

En su mayor parte los sistemas de potencia actuales han sido estructurados y planificados de la manera tradicional, es decir grandes centrales de generación, generalmente ubicadas cerca de la fuente primaria de energía, posteriormente se tiene grandes redes de transmisión que atraviesan distancias considerables hasta llegar a la carga.

Realizando una ilustración básica acerca de la concepción tradicional de un sistema eléctrico de potencia, se considera cuatro niveles fundamentales, los cuales son: generación, transmisión, distribución y consumo.

En la Figura 1 se aprecia los diferentes niveles de un sistema eléctrico de potencia.



**Figura 1 Sistema eléctrico de potencia unidireccional.**

*Fuente: F. Gonzáles, "Impacto de la Generación Distribuida en los Sistemas de Potencia," Tesis Doctoral, Universidad Central de Venezuela, pp. 2-3, 2008.*

Se observa claramente que la toma de decisiones se vuelve centralizada, con esta estructura verticalmente integrada y dependiente cada etapa de la inmediata anterior[2].

### **1.1.2 Factores que Promueven el Desarrollo de Generación Distribuida**

En la actualidad la creciente demanda eléctrica por parte de la población es un tema fundamental en el desarrollo del planeta ya que para suministrar energía eléctrica se utilizan diversas formas, algunas de las cuales contribuyen directamente al deterioro del ambiente que nos rodea. El uso de recursos y elementos no renovables hace que el tema sea más preocupante aún, ya que si el recurso primario para su funcionamiento, las centrales eléctricas que trabajan con combustibles fósiles se agotaría, quedarían obsoletas [1] [3].

Una de las principales razones por la que se busca un cambio en la concepción de generación de energía eléctrica es el cambio climático que tiene actualmente el planeta, dentro de este marco la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático (CMNUCC), ha realizado diferentes gestiones para comprometer a las grandes naciones del planeta a realizar una disminución de las emisiones de gases contaminantes que producen el denominado efecto invernadero, muestra clara de esto es el tratado de Kioto, el cual tiene como objetivo principal reducir paulatinamente la emisión de gases de efecto invernadero, así como también el promover la generación de un desarrollo sostenible, de tal manera que se utilice también las energías denominadas no convencionales para la generación de energía eléctrica[1].

"investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales"[1].

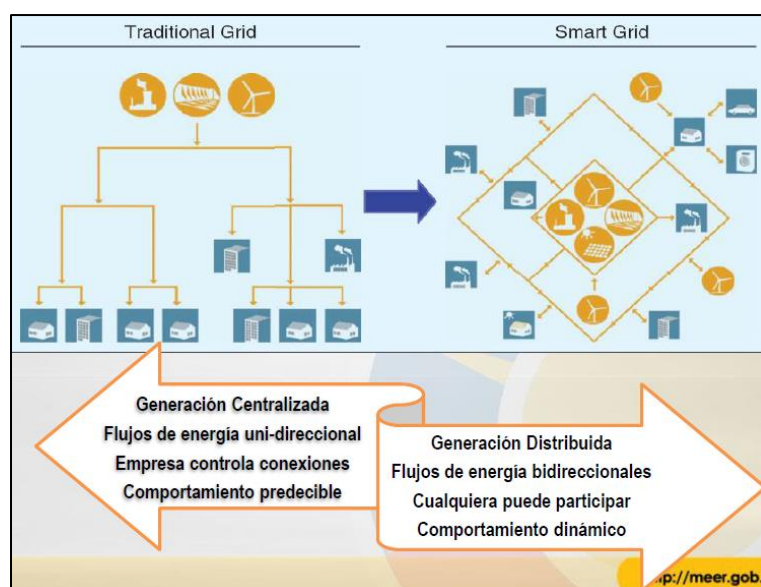
#### **1.1.2.1 Cambio en la Matriz Energética.**

En el Ecuador el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), tiene en marcha varios proyectos eléctricos estratégicos, los cuales impulsan el potencial energético, particularmente el Programa Redes Inteligentes Ecuador (REIDE), el cual facilitará la integración de diferentes actores, tecnologías, normas, estándares orientados a impulsar el uso eficiente de los recursos energéticos renovables e impulsar la

seguridad y calidad en el suministro eléctrico.

El Gobierno a través del MEER y de un comité es el encargado de definir la hoja de ruta del REIDE, en función de la nueva constitución y la políticas vigentes[4].

De forma ilustrativa se puede observar el cambio que esta inclusión de tecnología genera a nuestro sistema actual.



**Figura 2 Tipos de Sistemas Eléctricos de Potencia (Tradicional y Smart).**

*Fuente: Instituto Nacional de Eficiencia Energética Energías Renovables and INER, "Redes Inteligentes y Generación Distribuida," Programa de Redes Inteligentes Ecuador, pp. 2-6, 2013.*

### **1.1.3 Concepción Contemporánea de los Sistemas de Potencia**

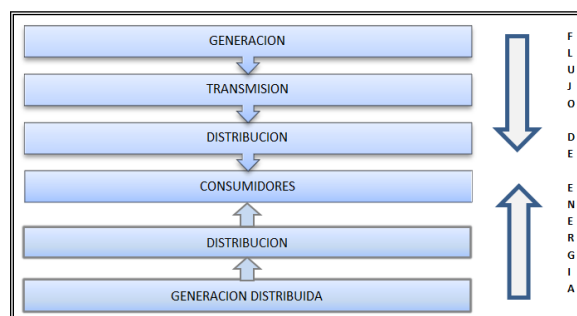
La evolución tecnológica nos ofrece una inmensa variedad de aplicaciones tanto para la generación eléctrica, como para la utilización de la misma.

Las tecnologías ahora disponibles se encuentran al alcance del usuario, claro que en un tamaño bastante reducido en comparación a la generación central, por citar como ejemplo, paneles solares, generadores eólicos, entre otros a los que los usuarios tienen un acceso pleno en la actualidad, para satisfacer una pequeña parte del suministro de energía eléctrica requerido, es importante considerar que este desarrollo tecnológico ha logrado una gran eficiencia en la conversión de energía, sin embargo para que trabajen en paralelo con la RD existen varias limitaciones como, una normativa clara en función del tipo de generador, el tamaño, los requerimientos básicos, infraestructura propia de la

RD, entre otros [5].

Un sistema eléctrico de Potencia se compone de generación, transmisión y un sistema de Distribución, tomando en cuenta que la distancia existente desde los centros de generación hasta la carga es considerable, ya que las centrales de Generación se construyen cerca de la fuente primaria de energía ya sea ríos, minas de carbón, refinerías de Petróleo, etc[6].

El sistema de distribución es el medio final entre los usuarios y las empresas generadoras, es decir el sistema de distribución es lo más cercano a la carga, es precisamente en este punto del sistema eléctrico de potencia que la GD permite que el concepto inicial del sistema eléctrico de potencia unidireccional, cambie su concepción al reestructurarse, como podemos apreciar en la Figura 3.



**Figura 3 Sistema eléctrico de potencia con GD integrada**

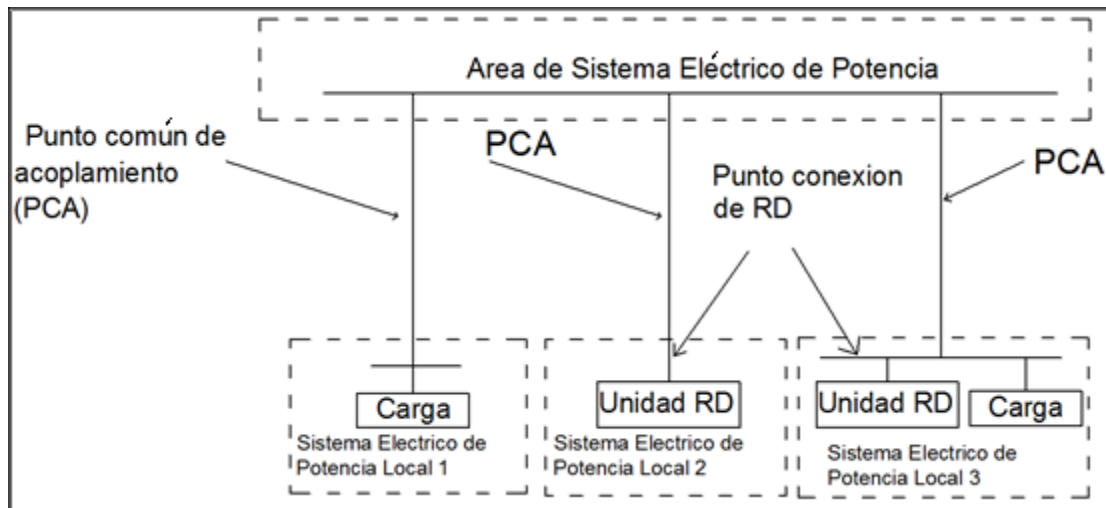
*Fuente: F. Gonzáles, “Impacto de la Generación Distribuida en los Sistemas de Potencia,” Tesis Doctoral, Universidad Central de Venezuela, pp. 2–3, 2008.*

#### **1.1.4 Definición de Generación Distribuida (GD)**

Al ser la GD una tecnología que se encuentra mundialmente presente es conocida de diferente forma en las diferentes regiones, por ejemplo en los países anglosajones es denominada como “*embedded generation*”, en Europa es conocida como “*decentralised generation*”, en Norteamérica se la conoce como “*dispersed generation*”, por lo que dar una definición específica sería descartar las investigaciones anteriormente realizadas en cuanto a GD[7].

Por parte del *Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)*. El *Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System P1547*, define a la GD, como instalaciones diseñadas para la generación de electricidad, conectados a un área de un sistema de Potencia a través de un punto de conexión, se puede entender

mejor esta definición revisándola en la Figura 4 [8].



**Figura 4 Sistema eléctrico de potencia, ilustrado con generación distribuida.**

*Fuente: Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE 1547.2 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems," vol. 2, 2009*

Para ilustrar el punto en donde la GD se une a la red de distribución va a ser denominado punto de acoplamiento (PCA), de la misma manera se denomina Recursos Distribuidos (RD) a aquellas fuentes de potencia eléctrica que no se encuentran conectadas directamente al sistema de transmisión.

Para la Internacional Council on Large Electric System (CIGRE) constituye la generación distribuida[9].

- No centralmente planificada
- No centralmente despachada
- Usualmente conectada a la red de distribución
- Más pequeño que 50 o 100 MW.

Se considera a la Generación Distribuida (GD), como una fuente pequeña (comparado con las fuentes de generación centralizadas) de generación de energía eléctrica que se encuentra muy cercana a la carga, la utilización de la misma puede darse de forma integrada o individual, por parte de las empresas eléctricas, usuarios o terceras personas que benefician al sistema eléctrico o a su vez a usuarios específicos[10].

Una vez revisadas varias definiciones consideradas relevantes, es importante señalar una definición que en el presente trabajo nos va a acompañar para tener claro el

lineamiento sobre la GD.

Generación Distribuida se considera a una fuente de generación eléctrica conectada por medio del sistema de distribución al sistema eléctrico de potencia, en la ubicación del usuario o muy cercana a él, el tamaño de la fuente es pequeño en comparación de las plantas de generación centralizada[10].

#### **1.1.5 Regulación de la Generación Distribuida en el Ecuador**

Cuando se trata de mercados competitivos se basa en la definición legal que hace distinción formal entre la red de transmisión y la red de distribución, que se fundamenta en el segmento regulado del mercado eléctrico.

Las líneas de transmisión permiten llevar la energía eléctrica hacia donde se desee, independientemente de la situación geográfica que se presente para su ejecución, por lo cual se emplean líneas aéreas y subterráneas.

En el Ecuador la red de transmisión está administrada única y exclusivamente por la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC, que surge de la fusión de todas las empresas de generación gubernamentales y de la empresa TRANSELECTRIC S.A., de acuerdo con el Mandato Constituyente No. 15.

CELEC presenta sus estrategias de negocio y planes de acción, definidos en el Plan Maestro de Electrificación, para su aprobación al Organismo Regulador, el CONELEC.

Por otra parte, la red de distribución prepara la energía eléctrica para el uso del cliente final (residencial, comercial e industrial), es decir, transforma la energía eléctrica hasta la baja tensión. Dentro de esta red pueden distinguirse tres subredes, de reparto, de media tensión y de baja tensión, permitiendo la conexión de diferentes usuarios, de acuerdo a su consumo de energía.

La red de distribución asegura que la energía eléctrica llegue a los clientes con la calidad y garantías requeridas, el control del consumo, y la atención a nuevas demandas, lo que constituye un impacto social directo.

Los elementos que conforman la red de distribución son en primer lugar los que se encuentran en la Subestación de Distribución: transformadores, seccionadores, etc. Que reducen los niveles de tensión; circuito primario y circuito secundario.



En nuestro país la red de distribución de energía eléctrica está a cargo de empresas donde la participación mayoritaria corresponde al Estado, por lo que generalmente son consideradas empresas públicas, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley Orgánica de Empresas Públicas publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 48 de 16 de octubre de 2009.

Según la regulación del CONELEC 004/11 señala que según la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE) en el artículo número 63, indica que el Estado fomentará el desarrollo y la utilización de recursos energéticos no convencionales, a través de diferentes entidades como universidades, instituciones privadas, con respaldo de instituciones financieras, y organismos públicos, señala que se debe considerar la diversificación para la utilización de otros recursos energéticos no convencionales, con la finalidad de disminuir la vulnerable dependencia de los combustibles derivados del petróleo[11].

Esta regulación toma en cuenta el costo de inversión que tiene este tipo de tecnologías, al mencionar que los costos son mayores a los costos de inversión, los cuales se compensan con los costos variables de producción, a mediano plazo, lo que indica que son rentables desde el punto de vista económico así como también técnico y ambiental.

La electrificación en zonas rurales y en poblados alejados a las fuentes convencionales de generación hace que el llegar a estos sectores tenga un gasto económico muy elevado, por lo cual la utilización de fuentes de energía no convencionales en estos sitios es ideal.

El utilizar el recurso hídrico en pequeñas centrales ha sido un factor que ha permitido el desarrollo de energías renovables en otros países que ya lo han aplicado.

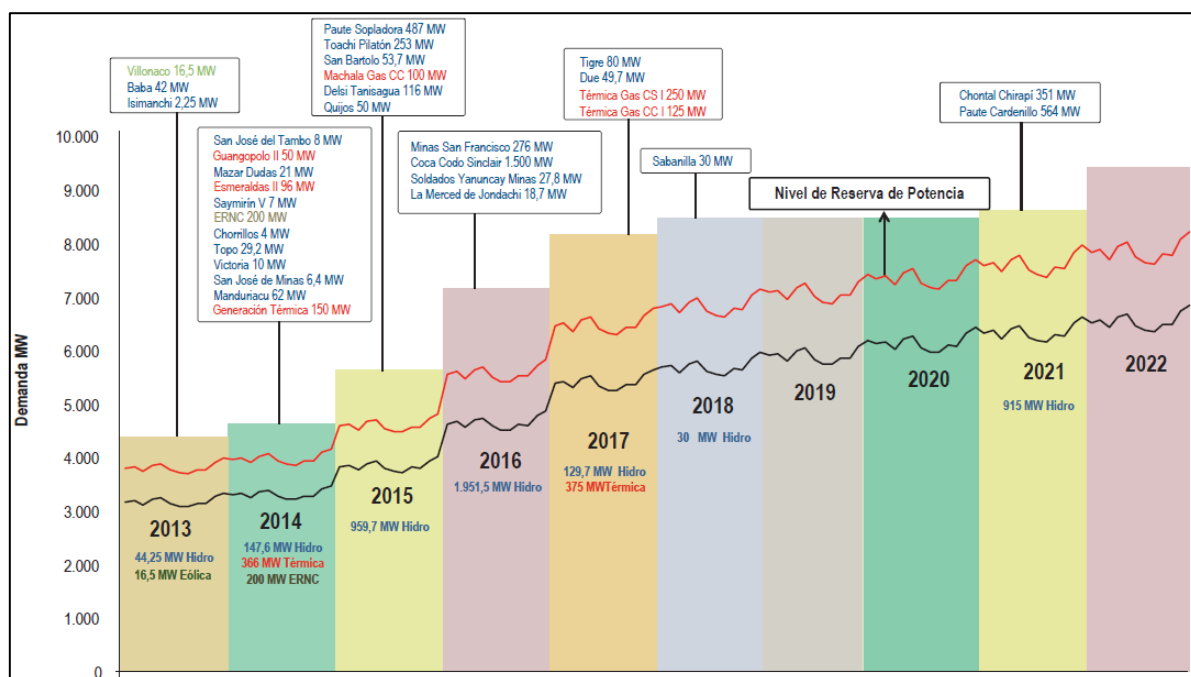
Con el Artículo 64 de la LRSE, se establece que el CONELEC es quien dictará las normas aplicables para el despacho de la electricidad generado por energías no convencionales tendiendo a su aprovechamiento y prioridad fundamentalmente.

El CONELEC según la Resolución No. 127/08, de 23 de octubre de 2008, aprobó la Regulación No. CONELEC – 009/08 “Registros de Generadores Menores a 1 MW”, la cual es la regulación por la cual los generadores menores a 1MW deben registrarse para su normal funcionamiento[12].

De la misma manera el Código Orgánico de la producción, Comercio e Inversión publicado en el Suplemento del Registro Oficial No. 351 de 29 de diciembre de 2010, en su libro VI, Sostenibilidad de la Producción y Regulación con su Ecosistema, en los artículos 233 y 235 promueve el desarrollo de producción de energía más limpia, y en la cuarta disposición reformativa establece que se podrá delegar a la empresa privada el desarrollo de proyectos que sirvan de beneficio a la empresa pública, y ciudadanía en general.

### 1.1.6 Generación Distribuida en el Ecuador.

Gracias al gran potencial de recursos naturales que posee el Ecuador, la mayoría de generación eléctrica que se produce se lo hace de manera hídrica, en la siguiente gráfica se puede apreciar los valores de potencia que generan, y van a generar en lo posterior las diferentes centrales eléctricas, se puede apreciar la inclusión de GD durante todo el plan maestro de electrificación 2013 – 2022 [13].



**Figura 5 Infraestructura en Generación para el plan de Expansión de Generación 2013 -2020.**

*Fuente: Consejo Nacional de Electricidad, "Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022," Resumen Ejecutivo CONELEC, pp. 24, 2012.*

Tomando referencia desde hace más de una década, podemos apreciar que en la Tabla 1, la producción nacional según el tipo de generación.

Producción anual de energía eléctrica a nivel nacional por tipo de fuente energética (GWh)										
Año	Renovable				No Renovable			Importación	Total	Variación (%)
	Hidráulica	Solar	Eólica	Térmica Turbo-vapor*	Térmica					
					MCI	Turbo-gas	Turbo-vapor			
1999	7 177,36	-	-	-	291,27	538,21	2 301,28	23,76	10 331,88	
2000	7 359,01	-	-	-	578,44	524,07	2 150,92	-	10 612,44	2,72%
2001	6 886,29	-	-	-	711,28	1 053,40	2 398,83	22,23	11 072,03	4,33%
2002	7 338,89	-	-	-	695,65	1 313,98	2 539,04	56,30	11 943,86	7,87%
2003	7 007,12	-	-	-	731,17	1 335,17	2 472,67	1 119,61	12 665,74	6,04%
2004	7 206,20	-	-	3,24	1 366,84	1 739,72	2 268,84	1 641,61	14 226,46	12,32%
2005	6 677,55	-	0,01	102,86	1 384,89	2 483,39	2 755,32	1 723,45	15 127,47	6,33%
2006	6 917,77	-	0,01	145,56	2 103,16	3 136,13	2 813,22	1 570,47	16 686,32	10,30%
2007	8 789,16	0,96	0,02	218,75	3 340,42	2 437,45	2 549,90	860,87	18 197,52	9,06%
2008	11 026,16	2,68	0,03	208,32	3 243,67	1 839,86	2 287,80	500,16	19 108,69	5,01%
2009	9 225,41	3,20	0,01	216,52	3 145,61	2 816,44	2 857,43	1 120,75	19 385,37	1,45%
2010	8 636,40	3,43	-	235,56	4 087,07	3 820,33	2 727,06	872,90	20 382,76	5,15%
2011	11 133,09	3,34	0,06	278,20	4 375,78	2 272,25	2 481,42	1 294,59	21 838,73	7,14%
2012	12 237,72	2,40	0,32	296,35	5 481,45	2 337,05	2 492,42	238,20	23 085,92	5,71%

Nota: \* Se refiere a las centrales de las empresas azucareras que utilizan como combustible el bagazo de caña.

**Tabla 1 Indicadores de Potencia Efectiva en el Ecuador – Fuente Conelec 2012**

*Fuente: Consejo Nacional de Electricidad Ecuador, “Estadísticas del sector eléctrico” CONELEC, p. 1, 2012*

Indudablemente podemos observar que la GD, a nivel nacional está tomando un nivel de penetración cada vez más considerable, lo que hace evidente que los usuarios de igual manera van a tomar iniciativa en cuanto a querer aportar con generación limpia, lo que hace necesario considerar seriamente este escenario, ya que es evidente que la GD se encuentra presente en el Ecuador.

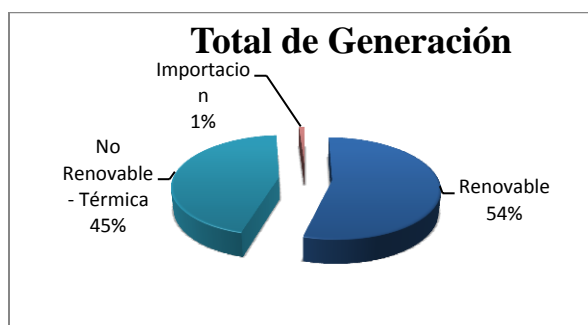
Tomando en consideración las estadísticas del CONELEC, según el tipo de generación en el año 2012 se tiene la Figura 6.

Año	Renovable				No Renovable - Térmica			Importación	Total	GWH
	Hidráulica	Solar	Eólica	Térmica Turbo-Vapor	MCI	Turbo - gas	Turbo Vapor	Importación		
2012	12237,72	2,4	0,32	296,35	5481,45	2337,05	2492,42	238,2	23085,92	GWH

**Tabla 2 Valores de generación en Ecuador según el tipo de generación primaria.**

*Fuente: Consejo Nacional de Electricidad Ecuador, “Estadísticas del sector eléctrico” CONELEC, 2012*

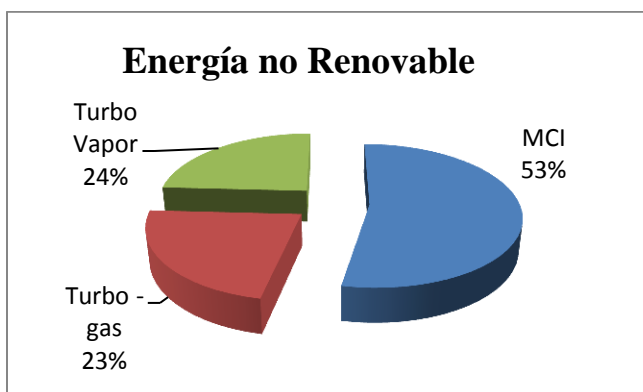
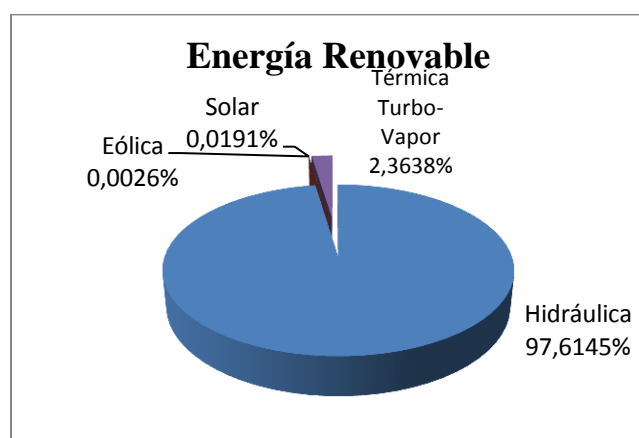
En la Figura 6 se observa el porcentaje anual de generación según su tipo de tecnología.



**Figura 6 Porcentaje Anual de Generación Eléctrica Según el tipo de Fuente Primaria de Energía.**

*Fuente: Consejo Nacional de Electricidad Ecuador, “Estadísticas del sector eléctrico” CONELEC, 2012*

Del porcentaje de generación con fuentes primarias de energía renovable se tiene la Figura 7, en la que podemos ver que la mayor producción se encuentra en generación Hidráulica.

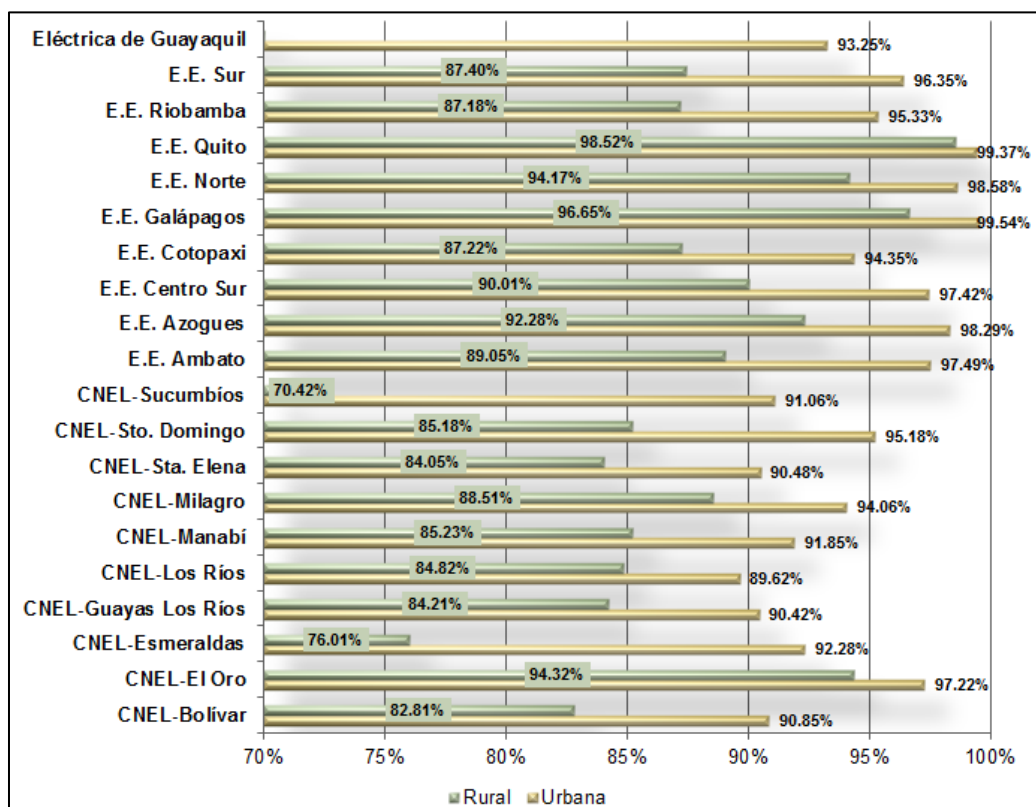


**Figura 7 Porcentaje de Generación Renovable y no Renovable según el tipo de Fuente de Generación.**

*Fuente: Consejo Nacional de Electricidad Ecuador, “Estadísticas del sector eléctrico”*

### CONELEC, 2012

En el Censo realizado en el año 2010, se logró determinar que el porcentaje de viviendas en el Ecuador con suministro de energía eléctrica es de 93,53%, para la zona urbana el porcentaje es del 94,82%, y para la zona rural es de 89,03% [14].



**Figura 8 Cobertura Eléctrica Empresas Distribuidoras Fuente Conelec.**

*Fuente: Consejo Nacional de Electricidad, “Indicadores CONELEC Porcentaje de Cobertura Eléctrica Urbana y Rural, Empresas Distribuidoras,” p. 1, 2010.*

Como se puede apreciar en la Figura 8 existen varias regiones rurales en el Ecuador en donde aún la cobertura eléctrica es inexistente, estos casos se dan ya que la dispersión que existen en grandes proporciones de terreno de pocos usuarios, causa que el costo para la construcción de las redes de distribución, sea muy elevado en función del número de usuarios.

Esta es una razón por la cual el uso de GD en las zonas rurales, se fomenta ya que en ciertas regiones, el aprovechamiento del recurso natural como paneles fotovoltaicos, aerogeneradores entre otras tecnologías, hacen que el costo y la sustentabilidad de los proyectos con energía renovable sean viables, en el plan maestro de electrificación 2013-2022, se da a conocer los proyectos con GD, que se encuentran ya en ejecución o

en trámite de adjudicación[13].

Entre los principales proyectos tenemos:

- Ecuador Energético S.A; Proyecto Fotovoltaico Pimán, 25 MW, ubicado en la Provincia de Imbabura.
- Ecuador Energético S.A; Proyecto Fotovoltaico Santa Elena 25 MW de capacidad ubicado en la provincia de Santa Elena.
- Generación de Energía Solar Solarconnection S.A; Proyecto Fotovoltaico, 20 MW de capacidad, ubicado en Tabacundo – Cayambe – Provincia de Pichincha.
- Condorsolar S.A; Proyecto Fotovoltaico, 30 MW de capacidad, ubicado en Tabacundo – Cayambe – Provincia de Pichincha.
- Energía Solar S.A; Proyecto Fotovoltaico, 30 MW de capacidad, ubicado en Los Bajos – Montecristi – Manabí.
- Guitarsa S.A, Proyecto Fotovoltaico Vaina, 20 MW de capacidad, ubicado en Cerecita, Provincia del Guayas.

Estos proyectos aportan con cantidades significativas, además existen pequeños proyectos que ayudan significativamente a las comunidades más desfavorecidas y en los sectores más aislados del Ecuador.

Uno de estos proyectos es el Euro Solar, el cual consta de una torre en la cual se instala 7 paneles fotovoltaicos con una capacidad de 1.100 vatios pico y equipamientos para acceso a las telecomunicaciones como se puede visualizar en la Figura 9, con este proyecto se beneficiará a 39.629 habitantes distribuidos en 7 provincias del Ecuador que son: Guayas, Esmeraldas Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza y Morona Santiago[15].



**Figura 9 Ejemplo de Instalación de Paneles fotovoltaicos Proyecto Eurosolar.**

*Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER, “Programa EURO-SOLAR,”  
Energía renovable para el desarrollo., pp. 4, 2009.*

En Ecuador se ha implementado algunos proyectos basados en el Plan Maestro de Electrificación del Ecuador 2009 – 2020. La situación macroeconómica del país permite prever y satisfacer las necesidades futuras de energía y potencia eléctricas[16].

Algunos de los proyectos emblemáticos que se desarrollan en la actualidad son Coca Codo Sinclair (hidroeléctrico), Delsitanisagua (hidroeléctrico), Mazar Dudas (hidroeléctrico), Minas San Francisco (hidroeléctrico), Quijos (hidroeléctrico), Sopladora (hidroeléctrico), Toachi Pilatón (hidroeléctrico), Villonaco (eólico) y el segundo parque eólico en el Archipiélago de Galápagos.

Es importante destacar que ya se culminó el primer proyecto fotovoltaico “Paragachi” del Ecuador, conformado por 4.160 paneles solares, con una capacidad de producción de energía para 25 años, y sin producir emisiones de gases de efecto invernadero.

Nombre	Tipo	Ubicación (Provincia)	Empresa Ejecutora	Inicio de operación	Avance (%)	Potencia (MW)	Energía (GWh/Año)	Inversión (Millones USD)
CocaCodo Sinclair	H	Sucumbíos y Napo	COCA SINCLAIR EP	ene-16	39,06%	1.500	8.743	2.245,0
Toachi-Pilatón	H	Límites de Pichincha, Santo Domingo y Cotopaxi	CELEC EP	abr-15	23,32%	253	1.120	528,0
Sopladora	H	Límites de Azuay y Morona Santiago	CELEC EP	dic-14	22,03%	487	2.800	656,5
Quijos	H	Napo	CELEC EP	dic-15	12,53%	50	355	118,3
Manduriacu	H	Límites de Pichincha e Imbabura	CELEC EP	oct-14	15,27%	60	341	132,9
Minas San Francisco	H	Límites de Azuay y El Oro	CELEC EP	dic-15	7,20%	270	1.290	508,8
Mazar-Dudas	H	Cañar	CELEC EP	feb-14	7,63%	21	125	51,2
Delsitanisagua	H	Zamora Chinchipe	CELEC EP	dic-15	7,61%	115	904	215,8
Villonaco	E	Loja	CELEC EP	ene-13	99,00%	16,5	59	41,8
<b>TOTAL</b>						<b>2.773</b>	<b>15.737</b>	<b>4.498</b>

**Tabla 3 Proyectos Emblemáticos Generación Eléctrica Ecuador.**

*Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER., “Informe de rendición de cuentas 2012,” pp. 11, 2012*

El proyecto Coca Codo Sinclair con una inversión de USD 2.245 millones, desarrolla la construcción de una hidroeléctrica capaz de generar 1.500 MW de potencia efectiva con una producción de energía de 8.731 GWh/año. Este proyecto además ha favorecido desde el punto de vista económico y social a más de 19 mil personas principalmente de los cantones amazónicos El Chaco, en Napo y Gonzalo Pizarro en Sucumbíos.

El proyecto Hidroeléctrico Delsitanisagua desarrollado en la provincia de Zamora Chinchipe generará 904 GWh/año con una potencia 115 (MW), favoreciendo de manera directa e indirectamente a 13. 4 millones de habitantes del país[17].

El proyecto Minas San Francisco producirá 1.290 GWh/año generando 270 MW de energía limpia, beneficiando a más de 100 mil habitantes correspondientes a los cantones de ubicación del proyecto - Pucará en Azuay y Zaruma en El Oro.

El Parque Eólico Villonaco ubicado en la provincia de Loja beneficiará a más de 400 mil personas, con 11 aerogeneradores permitirá una producción de 59 GWh/año de energía y 16.5 MW de potencia, con una inversión de USD 41.8 millones[18].





**Figura 10 Vista de Aerogeneradores Parque Nacional Villonaco.**

*Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER, “Parque Eólico Villonaco,” Inicio de Operaciones Proyecto Eólico, p. 3, 2013*

El segundo parque eólico en el Archipiélago de Galápagos, el parque “Eólico Baltra” se desarrolla en la Isla Baltra con una generación de 2.25 MW, permitirá abastecer el 25 por ciento de demanda de electricidad de la población de Puerto Ayora, en isla Santa Cruz. Este parque eólico contará con 3 aerogeneradores de 750 KW, que se instalarán sobre torres de 50 metros de altura cada una, de igual manera se construye un sistema de interconexión desde isla Baltra a la isla Santa Cruz compuesto por redes subterráneas, aéreas y submarinas.

El Estado ecuatoriano desde el año 2011, mediante la Regulación No. CONELEC 004/11 ha desarrollado una serie de incentivos para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables no convencionales, que faciliten y garanticen precios preferentes para cada una de estas tecnologías (solar, eólica, biomasa, geotérmica e hidroeléctricas de menos de 50MW)[11].

### **1.2 Tecnologías de la Generación Eléctrica**

Durante décadas el ingenio del ser humano ha hecho posible diversas formas de generación eléctrica, durante todo este tiempo se ha evidenciado que la finalidad de producir energía eléctrica, no necesariamente va de la mano con la eficiencia así como con el ambiente, el crecimiento de la demanda así como el avance tecnológico contemporáneo, ha hecho que se busquen nuevas alternativas de generación eléctrica.

En la presente tesis se considera a la generación hidráulica como energía renovable, ya que el elemento primario para su generación es el agua, la cual cumple un ciclo en la

naturaleza, al ser utilizada de forma responsable.

La Tecnología de GD así como también el método que se utiliza para la interconexión con la RD, depende principalmente del elemento que utiliza la fuente de generación para la conversión de energía, inicialmente se puede dividir en dos grandes grupos, en convencionales y no convencionales[19].

### **1.2.1 Fuentes de Generación Convencionales**

Son las que provienen de recursos energéticos naturales tales como el carbón, el petróleo, gas natural entre otros, estos recursos son limitados en la naturaleza y su uso durante varias décadas ha producido que cada vez sea más difícil su obtención, tendiendo a su desaparición en algunos casos.

Además de la contaminación que genera al ambiente los residuos que producen estos recursos han contribuido al denominado calentamiento global que existe actualmente.

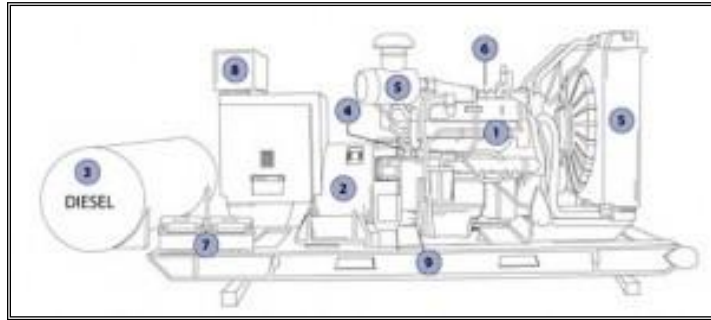
#### **1.2.1.1 Motores de Combustión Interna**

Los motores de combustión interna, representan una de las tecnologías más comunes y maduras utilizadas en GD. Los sistemas que combustión interna dominan el segmento de unidades menores a 1MW, con un porcentaje del 5% (146 GW) del valor total mundial que es (3000 GW) [20].

Los motores de combustión interna pueden ser clasificados según la velocidad en generadores de alta velocidad, media y baja. Los de alta velocidad operan entre 1200 y 3600 rpm, a este nivel exhiben la mayor salida por unidad de desplazamiento y el más bajo costo de capital, sin embargo tienen una menor eficiencia, para los de velocidad media operan entre 275 y 1000 rpm produciendo un alto costo de capital, además de una mayor eficiencia, los de baja velocidad utilizan combustibles de baja calidad, es indiscutible la diferencia ente el costo del aceite pesado y el gas natural, este tipo de generadores no tienen restricciones ambientales [21].

Utilizan combustibles como la gasolina, fuel-oil, gas natural, gasoil, su rendimiento oscila de 25 - 45% a carga total, los tiempos de arranque oscilan entre 30s a 15 min.

La Figura 11 muestra los componentes básicos de un generador estacionario.



**Figura 11 Elementos básicos Generador Estacionario (Motor de Combustión Interna).**

*Fuente: P. Kundur, Power system stability and control. New York: , 1994, pp. 32-58.*

- (1) Motor
- (2) Alternador
- (3) Sistema de Combustible
- (4) Regulador de Voltaje
- (5) Sistema de Escape y Enfriamiento
- (6) Sistema de Lubricación
- (7) Cargador de Batería
- (8) Panel de Control
- (9) Ensamble Principal

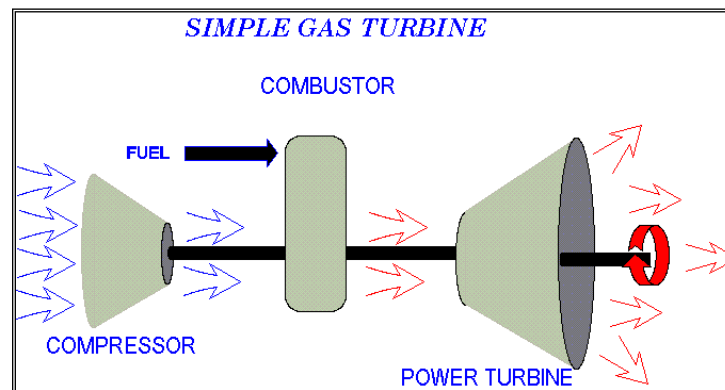
Las ventajas de esta tecnología son en primer lugar la baja inversión de capital, buenas eficiencias en conversión energética, fácil arranque, flexibilidad de combustible, alta fiabilidad, baja presión de combustible. Como inconvenientes tenemos el nivel alto de emisiones, nivel excesivo de ruido mayor a 70dB y mantenimiento frecuente.

#### **1.2.1.2 Turbinas de Combustión.**

Las turbinas de combustión son motores que utilizan el flujo de gas como medio de trabajo para convertir la energía térmica producto de la combustión en energía mecánica, el gas se produce producto de diferentes sistemas de conducción de alta presión de combustible así como también la combustión de diferentes sustancias, para su funcionamiento[22].

Su producción comercial es limitada, el rendimiento oscila entre el 20-30%, presentan bajas emisiones 9-50 pm de NOx, posibilidades de cogeneración utilizando agua caliente entre 50-80C.

En la Figura 12 se muestra un esquema sobre los componentes básicos que constituyen una turbina de gas.



**Figura 12 Esquema Básico de componentes Turbina de Gas Simple.**

*Fuente: M. Donnelly, S. Papathanassiou, J. A. Lopes, M. Takasaki, H. Chao, J. Usaola, R. Lasseter, A. Efthymiadis, K. Karoui, and S. Arabi, "Modeling new forms of Generation and Storage," CIGRE Technical Brochure, vol. 38, no. 10, pp. 10–23, 2000.*

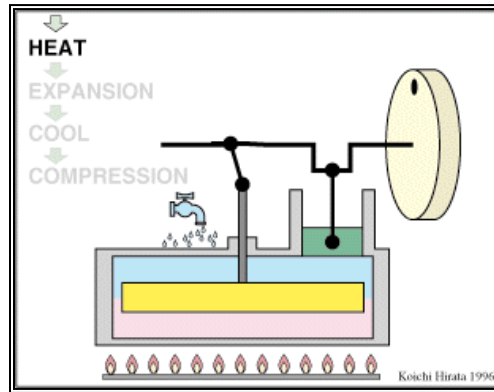
Las turbinas de gas tienen como ventajas que proporcionan un aprovechamiento de calor residual, elevada relación peso/potencia, son fiables, pueden aprovechar combustibles residuales, tiempo de arranque de 2 a 5 minutos. Sin embargo tienen como inconvenientes poca eficiencia a cargas parciales que pueden reducir el rendimiento un 25% a  $\frac{1}{2}$  carga, el rendimiento eléctrico es bajo, son sensibles a las condiciones ambientales y emiten un ruido mayor a 60dB.

### **1.2.1.3 Motor Stirling**

El motor Stirling, basa su funcionamiento en el aprovechamiento de los cambios volumétricos del fluido de trabajo como resultado de los cambios de temperatura que este sufre. Estos cambios volumétricos se producen por el desplazamiento del fluido de trabajo, entre la zona caliente y la zona fría en un cilindro sellado.

Son motores de combustión externa (sistema sellado), fluido de trabajo (He, H), de pequeño tamaño de 1-25kW, entre un 12-30% de eficiencia, y bajas emisiones.

En la Figura 13 se aprecia los cuatro pasos que utiliza el Motor Stirling para su funcionamiento.



**Figura 13 Principio de Funcionamiento Motor Stirling.**

*Fuente: J. R. Senft, Ringbom Stirling engines,. Oxford: , 1993, pp. 34–45.*

Esta tecnología proporciona bajas emisiones, no emiten vibraciones, simplicidad mecánica, utilización de gran cantidad de combustibles primarios, una vida útil elevada (6 años continuos). Sin embargo tienen un alto coste que pueden alcanzar los 50 mil dólares, una baja eficiencia y no pueden cambiar su potencia con rapidez.

Para su funcionamiento utiliza un ciclo termodinámico de un gas como fluido de trabajo, que puede ser aire, nitrógeno, helio, etc. Su fuente de energía puede ser cualquier foco de calor externo, por este hecho lo hemos puesto en esta categoría ya que durante décadas la mayoría de fuente primaria de energía para el calentamiento ha sido utilizado el combustible fósil[23].

### 1.2.2 Fuentes de Generación no Convencionales

Este tipo de generadoras utilizan los recursos naturales, la diferencia fundamental es que convierte la energía primaria en electricidad, sin generar un daño al ambiente, estas tecnologías utilizan recursos primarios tales como la radiación solar, la fuerza del viento, la materia orgánica (biomasa), caídas naturales de agua, las mareas, el calor geotérmico etc [24].

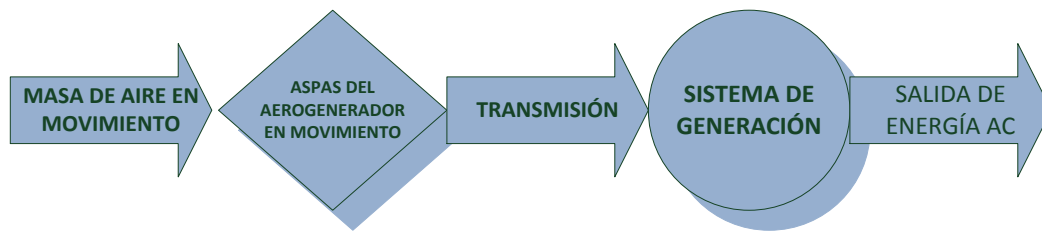
#### 1.2.2.1 Sistema de Conversión de la Energía del Viento

Para esta generación se aprovecha la energía del viento para producir electricidad, el viento es un recurso que varía continuamente que no puede ser almacenado, por lo que este sistema de conversión está ligado directamente a operar bajo esta condición [25].

### 1.2.2.2 Principio de Funcionamiento

La energía cinética que se produce por el desplazamiento horizontal del aire, es transformado en energía cinética de rotación en una turbina, a través de un número determinado de aspas, o cuchillas, las cuales se encuentran conectadas a un eje; Esta energía Rotacional es luego transformada en energía eléctrica a través de un generador eléctrico.

En la Figura 14 se puede apreciar el principio de funcionamiento de un aerogenerador.

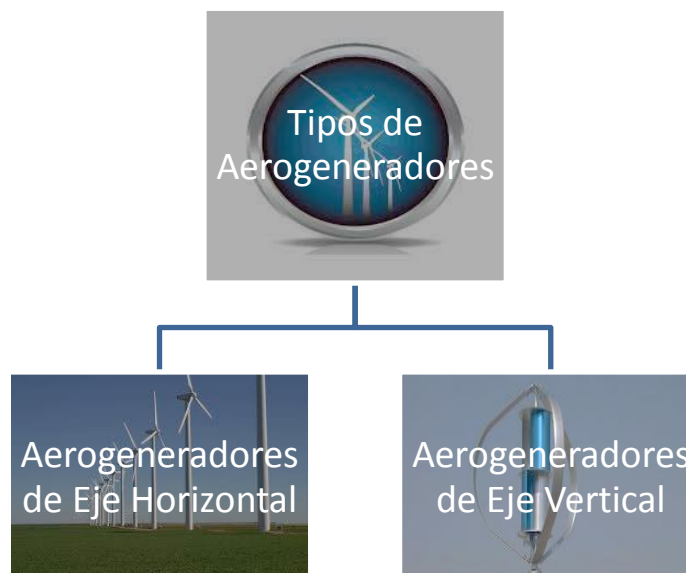


**Figura 14: Diagrama de bloques Principio de Funcionamiento de un aerogenerador.**

*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

A lo largo de décadas de evolución se han propuesto varios diseños en cuanto a generadores eólicos, principalmente el posicionamiento de las aspas, número de aspas y ángulo de posición de las mismas[26].

En la Figura 15 se aprecia de mejor manera la diferencia que existe entre aerogeneradores por el posicionamiento de sus aspas.

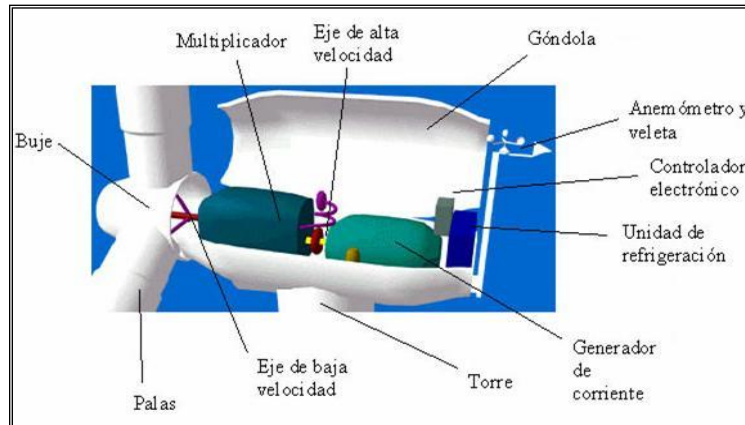


**Figura 15 Tipos de aerogeneradores por el posicionamiento de sus aspas.**

*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

Actualmente la principal tecnología utilizada en diseño mecánico es de dos o tres aspas, turbina con eje horizontal.

La Figura 16 muestra los componentes básicos de un aerogenerador.



**Figura 16 Componentes Básicos de un Aerogenerador.**

*Fuente: S. Fritz and G. J. Gerdes, "Wind Turbine Grid Connection and Interaction," Tech-wise A/S, vol. 5, pp. 9–15, 2001.*

Una de las turbinas más utilizadas en el medio son las turbinas de 2MW, también existen las turbinas de 5 – 6 MW están disponibles para ser utilizadas, en pequeños parques eólicos se tienen entre 3 y 10 turbinas es el rango nominal, estos parques eólicos todavía pueden ser conectados a la red de medio voltaje de distribución; Pero en parques eólicos más grandes, se vuelve necesario un punto de conexión con las líneas de transmisión o subtransmisión [25].

### **1.2.2.3 Variables para la producción de energía eléctrica**

El viento al ser un elemento del planeta, no puede ser controlado por el ser humano, el cual presenta variaciones de velocidad y dirección a través del tiempo, las cuales no pueden ser previstas con exactitud; por lo cual tener una estimación acerca de la producción de energía en un parque eólico es inexacta, aunque el ser humano ha desarrollado, algoritmos, estimaciones, matrices entre otras herramientas como software de simulación etc, con el objetivo de conocer un poco más acerca del comportamiento de este recurso natural [25].

La cantidad de energía que puede ser extraída por una turbina eólica no es la misma en todos los lugares, es por esta razón que para la instalación de un parque eólico, se realiza un estudio de factibilidad, en el cual se realizan lecturas en diferentes altitudes,

lugares, horarios, para determinar el lugar idóneo en el cual se podría llegar a instalar los aerogeneradores; otro fenómeno que se produce es la turbulencia, la cual es muy difícil, pero no imposible de cuantificar, esto no solo depende de las características geográficas locales como montañas o ríos, sino también de la presencia de árboles o edificios cercanos[27].

#### **1.2.2.4 Sistema de Conversión Energía Solar**

La energía solar es indispensable para la vida en nuestro planeta, un sistema fotovoltaico es el encargado de convertir la energía contenida en la luz del sol en energía Eléctrica.

Estos sistemas fotovoltaicos por lo general utilizan materiales semiconductores los cuales al ser expuestos a la radiación solar, logran romper la barrera semiconductora, y consecuentemente conducir electricidad [9].

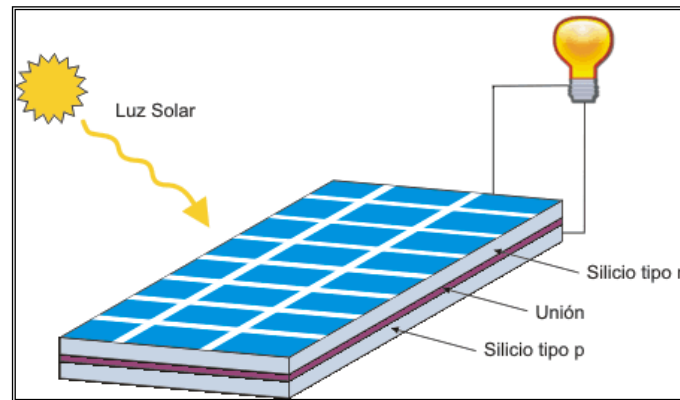
#### **1.2.2.5 Principio de Funcionamiento**

El principal material de que son fabricados los paneles solares es semiconductor cristalino, que al ser percibir la radiación del sol, produce una corriente eléctrica por efecto fotovoltaico, similar en funcionamiento al efecto que se da en un diodo, el principal componente utilizado para su fabricación es el Silicio (Si).

El rendimiento de estos elementos, dentro de un panel solar está entre el 15% y el 25%, evaluando este porcentaje, solo una pequeña parte de energía lumínica es verdaderamente aprovechada como energía eléctrica, una observación importante acerca de los paneles solares es que mientras más alta es la temperatura, el rendimiento del panel solar es menor [9][28].



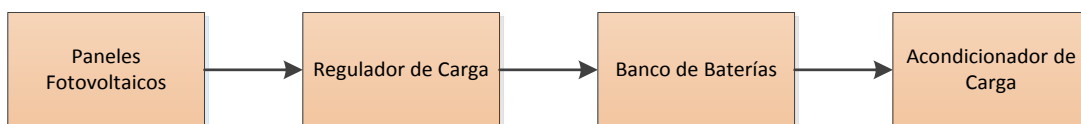
Figura 17 ejemplifica de manera muy básica como funciona un panel solar, para generar energía eléctrica.



**Figura 17 Esquema Básico componentes panel solar.**

*Fuente: P. Mitra, G. T. Heydt, L. Fellow, and V. Vittal, "The Impact of Distributed Photovoltaic Generation on Residential Distribution Systems," in IEEE North American Power Symposium (NAPS), Champaign IL, 2012, pp. 2.*

Un sistema fotovoltaico puede estar constituido por diferentes etapas, en las cuales las más básicas son, paneles fotovoltaicos, un regulador de carga, un banco de baterías, acondicionador de carga y demás elementos de montaje, como se puede apreciar en la Figura 18 los componentes básicos de un arreglo fotovoltaico.



**Figura 18 Componentes básicos de un arreglo fotovoltaico.**

*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

La cantidad de energía eléctrica producida a través de energía solar depende principalmente de la ubicación de los paneles solares, es decir una de las mejores locaciones para ubicarlos es la línea ecuatorial, ya que la intensidad del sol es mejor en este lugar que en los polos.

La cantidad de energía eléctrica generada por una instalación fotovoltaica (panel solar) es proporcional a la cantidad de radiación que alcanza dicho panel.

➤ **Requerimientos de Espacio:**

Los paneles tienen como ventajas principales el hecho de ser modulares, lo que permite

su instalación se pueda realizar casi en cualquier sitio, además no emiten gases contaminantes al ambiente, finalmente el costo de mantenimiento es sumamente reducido, ya que las partes móviles netamente del panel solar, son casi nulas.

Para realizar la instalación de paneles fotovoltaicos, es necesaria una gran área instalada para producir una cantidad significativa de energía, por lo general se instalan en zonas amplias abiertas, en la que con un previo estudio se ha determinado que la radiación del sol es significativa para asegurar la producción de Energía Eléctrica.

### **1.3      *Estado del Arte Sobre Estabilidad de Tensión con Integración de Generación Distribuida en Redes de Distribución***

#### **1.3.1    Generalidades**

Es necesario realizar inicialmente la distinción entre las Redes de Transmisión - RT y las Redes de Distribución - RD, partiendo del punto para el que fueron diseñadas tienen cada una su distinción, ya que las Redes de Distribución RD, no fueron diseñadas para la conexión de Generadores de Potencia Activa, además poseen un diseño radial o lazo que permite, en una sola frase el flujo de potencia dentro de una RD, es unidireccional [2].

En las RT y las RD, el efecto de la Resistencia (R), la caída de voltaje en la líneas es pequeño debido a que la magnitud es por lo general menor a la componente Reactiva (X), de la impedancia del conductor, por lo cual se tiene la siguiente relación:

$$\frac{X}{R} > 5 \qquad \text{Ecuación 1}$$

Es por esta razón que al producirse Potencia Activa y Reactiva dentro de la GD, esto va a influenciar en el nivel de Voltaje de la RD.

#### **1.3.2    Consideraciones en la Operación de la Red de Distribución**

Partiendo de que la GD, tiene varios tipos de generadores es necesario tomar en cuenta que el nivel de energía no es siempre constante, por tomar como ejemplo los generadores eólicos, de la misma manera la carga en una RD no siempre es la misma, tenemos que considerar los siguientes casos [9]:

- Primer Caso: Si la capacidad de Carga en cada barra es mayor o igual a la de la

GD en cada barra, se tiene este caso comúnmente para sistemas fotovoltaicos, micro-turbinas, pequeñas turbinas eólicas, este caso corresponde a un nivel bajo de penetración y de dispersión.

- Segundo Caso: Se refiere cuando la GD, es al menos en una barra mayor a la carga en la misma barra, pero la potencia total de la fuente de GD en la RD es menor que la suma de la carga total del sistema, este caso se puede ocurrir en centrales de biomasa, este escenario corresponde a un nivel de penetración y dispersión medio.
- Tercer Caso: La GD es al menos en una barra mayor a la carga en la misma barra y la sumatoria de la energía eléctrica suministrada por la GD, es mayor a la sumatoria de la carga que posee el sistema, lo que genera una penetración ideal para la RD con bajo nivel de dispersión.

### **1.3.3 Regulación de Voltaje en una RD**

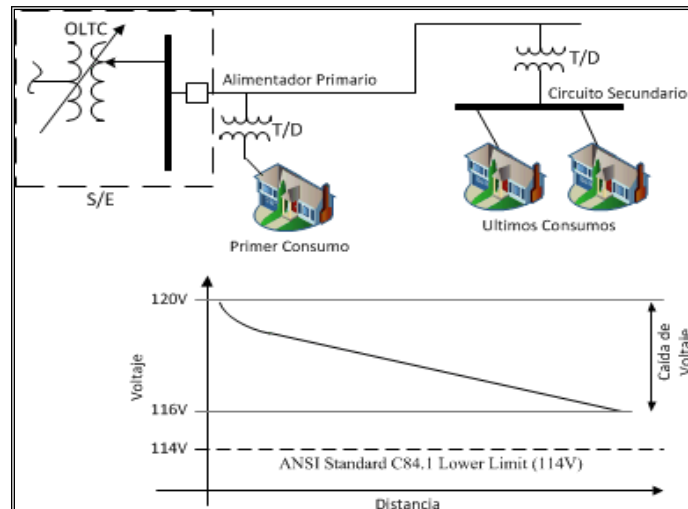
El nivel de Voltaje en la RD debe mantenerse dentro de un rango aceptable, con lo que se garantice que todos los equipos conectados a la Red, trabajen normalmente.

Las variaciones del nivel de voltaje en una RD, se producen cuando la corriente de carga que fluye a través de la parte resistiva e inductiva de la impedancia varia, lo que produce que el nivel de voltaje cambie su valor; estas variaciones en una RD sin conexión de GD, se producen por las variaciones de la carga (potencia activa y reactiva) durante el tiempo.

Las variaciones del nivel de voltaje por lo general son mayores en los extremos de la RD, ya que en estos puntos la impedancia de la línea tiene afectaciones.

De la misma manera las variaciones del nivel de voltaje son más agudas si la mayoría de la carga se encuentra concentrada al final de la RD, esto teniendo una topología radial.

En la Figura 19 se puede observar un sistema un sistema de distribución radial en el cual se muestra la caída de voltaje que se produce por la conexión de carga tanto al inicio como al final del alimentador primario.



**Figura 19 Sistema de Distribución Radial.**

*Fuente: "Comunicaciones Celulares Para Medición Inteligente De Energía Eléctrica En Sistemas De Distribución", Inga, E; Arias, D; Orejuela V.; Inga, J, Scientific Paper. pp 6, 2013.*

#### **1.3.4 Control del Nivel de Voltaje en una RD**

Según la Resolución 004/01 del CONELEC, acerca de la calidad de servicio eléctrico de distribución, resuelve en el Ítem 1 Disposiciones Generales, en sus definiciones señala como Voltaje Nominal ( $V_n$ ), se refiere al valor del voltaje utilizado para identificar el voltaje de referencia de una red eléctrica [11].

A su vez hace referencia al Voltaje de Suministro ( $V_s$ ), el cual es el valor del voltaje de servicio que el Distribuidor entrega al usuario en un instante dado.

Correspondiente al nivel de voltaje, señala que el distribuidor será el responsable de controlar el nivel de voltaje, perturbaciones y el factor de potencia, realizando mediciones periódicas, el levantamiento de las mediciones realizadas así como la determinación de las compensaciones que pudieran corresponder a los usuarios afectados y al pago de los mismos, todos estos datos deben estar a disposición del CONELEC en el momento que lo requiera[11].

##### **1.3.4.1 Regulación de Voltaje**

La regulación de voltaje corresponde al porcentaje de variación de voltaje medido en un intervalo determinado de tiempo, la siguiente formula hace referencia a lo antes mencionado [29].

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100$$

**Ecuación 2**

Dónde:

$\Delta V_k$ : Es la Variación del nivel de voltaje en el punto de medición, el intervalo “k” corresponde a un tiempo de 10 minutos.

$V_k$ : Voltaje eficaz o denominado (rms) medido en cada intervalo “k”.

$V_n$ : Voltaje Nominal en el punto de medición.

La regulación del nivel de voltaje se considera como las variaciones de los valores eficaces (rms) medidos en el intervalo “k”, con relación al voltaje nominal en los diferentes niveles [29].

En la siguiente tabla se muestra el nivel admitido para las variaciones de voltaje con respecto al valor del voltaje nominal son:

	En los primeros 24 meses	Después de los primeros 24 meses y luego indefinidamente
Alto Voltaje	± 7,0 %	± 5,0 %
Medio Voltaje	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Urbanas	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Rurales	± 13,0 %	± 10,0 %

**Tabla 4 : Regulación No. Conelec – 004/01, Limites de Nivel de Voltaje.**

*Fuente: Consejo Nacional de Electricidad Ecuador, “Regulacion CONELEC 004-01 Resolución 023/11,” p. 17, 2011.*

Factor de Potencia: Se define al factor de potencia (f.d.p), como la relación entre la potencia activa (P), y la potencia aparente (S), que da como resultado la medida de la capacidad de una carga de absorber potencia activa, el valor mínimo aceptado por el CONELEC es 0.92.

### **1.3.5 Análisis de la Integración de Generación Distribuida a la Red de Distribución.**

Algunas tecnologías de GD pueden suministrar potencia reactiva al sistema un ejemplo son los generadores sincrónicos directamente conectados a la red, con la operación a f.d.p en atraso la unidad de GD drena potencia reactiva desde la RD en consecuencia a esto se producen mayores caídas de voltaje en la red, por lo que el uso de generadores sincrónicos en unidades de GD, conectados directamente a la RD produce que el nivel de voltaje en la RD, sea tan bajo que incluso con la utilización de capacitores para mejorar el f.d.p, no logre mejorar satisfactoriamente; En vista de esto se prevé la utilización de compensadores estáticos de potencia reactiva SVC [30].

Existen dos formas en que la integración de la GD, puede influenciar en las variaciones del nivel del voltaje:

1. Cuando la GD es operada según los requerimientos de carga de la RD local, lo que crea una relación directamente proporcional, es decir mientras más carga se tenga en la RD, mayor será la producción de la GD, este caso permite que la GD contribuya a la reducción de las variaciones del nivel de voltaje al final no influye en la manera tradicional del control de voltaje tradicional.
2. Se produce cuando la potencia reactiva de la GD, es controlada totalmente aparte del nivel de carga que se tenga presente en la RD, este tipo de control se realiza con la GD siguiendo ciertos parámetros que pueden no necesariamente ajustarse a la carga que se manifiesta por parte de la RD, o simplemente la GD, mantiene su producción de energía eléctrica en función de su fuente primaria, ya sea esta solar o eólica.

En este caso debido a la variabilidad en el nivel de producción de la GD, se puede manifestar un cambio en el nivel de voltaje ya sea al nivel máximo o mínimo suministrado por la RD, de las consideraciones anteriores la que presenta más preocupación es cuando el nivel carga en la RD es bajo, por consiguiente al tener GD conectada, el nivel de voltaje puede subir, lo que presenta un desafío al control en el nivel de voltaje tradicional que se tiene en la RD.

En las RD donde el nivel de voltaje se efectúa mediante transformadores con cambio de toma, cuando la carga se eleva en la RD, esta regulación de voltaje entra en funcionamiento para elevar el nivel de voltaje y de esta manera mantener en el rango el

nivel de voltaje. Este esquema es aplicable para que el nivel de voltaje al final de la RD, se mantenga dentro del rango admitido, cuando en este esquema de regulación se integra la GD que genera un nivel de energía eléctrica muy independiente del nivel de carga presente en la RD, al no ser iguales todas la RD es decir al tener diferente carga y considerando que la GD puede tener un nivel de penetración también que puede ser grande o pequeño, se puede producir un incremento en el nivel de voltaje, especialmente en una RD débil o que no se encuentre preparada para la integración de GD.

Este sistema tradicional de la compensación por parte de los transformadores, supone una limitante ya que cuando se realiza el control de voltaje por este medio se eleva el voltaje en todas las líneas aguas abajo del transformador.

Para estos casos se puede tomar ciertas alternativas en función de la regulación de voltaje tales como:

- La reducción de la potencia activa puede ser utilizada para el aumento en del nivel de voltaje. Así también el disminuir el nivel de generación de energía en la unidad de GD puede ser beneficioso para la RD, considerando que la operación en el generador central perteneciente a la RD también debe reorganizarse en función de prever que se va a producir una incorporación de GD en la RD. Esta opción en la regulación del nivel de voltaje es la más económica ya que el operador puede prever el nivel de generación que puede ser suministrado, de esta manera no es necesario la instalación de un sistema de comunicación, pero a su vez es el propietario de la unidad de GD, quien no va a poder generar plenamente.
- El absorber la potencia activa puede ser beneficioso en el control del nivel de voltaje para el caso de RD débiles, para este caso se utiliza dispositivos de compensación de reactivos, lo cual sin embargo no es muy utilizado, una de las principales ventajas es que no requiere un sistema de comunicación.
- Actualmente el control del nivel de voltaje se lo realiza con la regulación de compensadores automática, en los transformadores los cuales al percibir el aumento de la carga, elevan o disminuyen el nivel de voltaje con la finalidad de mantener el nivel dentro del margen tolerado, usualmente se realiza un estudio

de carga aproximado, el cual va a permitir tener un margen en función del nivel de voltaje admitido, así como de la carga que se encuentra conectada a la RD. Esta práctica fue diseñada para redes pasivas unidireccionales, no para el caso de redes activas por la integración de GD.

- La aplicación de reguladores de voltaje es una opción factible para desacoplar el control de voltaje en alimentadores, considerando los alimentadores que se encuentran operando para las cargas, y los que consideran GD conectada, en el caso de la condición de generación de carga – máxima, el uso de transformadores con cambio de toma cumple la función de reducir el nivel de voltaje en el alimentador de la RD, donde la GD se encuentra conectada, este tipo de control de voltaje puede producir que el nivel de voltaje en los alimentadores contiguos sea bajo, dichos alimentadores son los que mantiene conexión con la GD. Dado este caso puede ser beneficioso el operar independientemente tanto el nivel de voltaje en el alimentador que suministra energía a la carga, como del control de voltaje en el alimentador en donde se encuentra conectada la GD.

Una solución viable para el control de voltaje es el uso de tecnologías de control automatizadas flexibles son costosas por el número de elementos que conlleva la implementación de equipos a lo largo de toda la RD, la comunicación que debe también ser instalada, y finalmente la automatización de la subestación. De la misma manera proveen una seguridad plena en cuanto a la regulación del nivel de voltaje así como permiten que el monitoreo en la RD, sea más preciso ya que en varios puntos se realizan mediciones que son enviadas, lo que permite ofrecer una respuesta pronta a cualquier dificultad que presente la RD por la conexión de GD.

#### **1.4 Normativa Nacional e Internacional (IEEE 1547)**

Para las tecnologías que se encuentran en desarrollo, investigación, pruebas e implementaciones con proyectos pilotos, es necesario establecer estándares técnicos, los cuales proveen seguridad tanto para la tecnología en desarrollo como para la tecnología existente con la cual va a interactuar.

Uno de los organismos internacionales que proveen normativa para tecnologías y sistemas eléctricos es el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) o IEC



(International Electrotechnical Commission), las normativas creadas por estas entidades, son un lineamiento para el desarrollo, sin embargo se convierte en necesario cuando una organización específica o legislativa requiere la aplicación de estos estándares.

En el Ecuador las regulaciones actuales promueven la instalación de GD de pequeña escala, sin embargo la expansión de esta tecnología aún no es tan grande debido a diferentes razones, el poco conocimiento del potencial que posee la GD por parte del usuario, la generalidad que posee la normativa actual. Es ideal que para la normativa de GD en el Ecuador, los organismos reguladores tomen referencia en la normativa internacional para tener un lineamiento claro antes que la GD pueda producir algún efecto que no se encuentre considerado dentro de la normativa actual.

Es por esta razón que los estándares, normas, requerimientos, guías, etc se encuentran disponibles para ser aplicados a nivel nacional como internacional.

#### **1.4.1 Generalidades para la normativa**

Los diferentes proyectos que se encuentran contemplados en el plan maestro de electrificación con GD, algunos de los cuales ya se encuentran en operación, hacen necesario el tomar en cuenta lineamientos sobre la conexión de GD al sistema actual, ya que en la normativa actual es muy general, entre las principales consideraciones para tomarse tenemos;

- La normativa en cuanto a la interconexión es la principal consideración, ya que la finalidad es poder integrar la GD, sin generar una discrepancia entre empresas distribuidoras y usuarios que aportan directamente a la RD.
- Para los requerimientos técnicos es necesario tanto los fabricantes como para los equipos que van a realizar la interconexión con la RD, para evitar posibles efectos en la estabilidad del sistema.

#### **1.4.2 Introducción**

La normativa IEEE 1547 (*Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*), proporciona un estándar uniforme para la interconexión de fuentes de GD a la RD, dentro de la norma se establece requisitos relevantes para el

funcionamiento, operación, pruebas, seguridad y mantenimiento de la interconexión[8].

A inicios de 1999, la IEEE aprobó la realización de P1547, se dio con el apoyo del Departamento de Energía de los Estados Unidos, la urgencia para el desarrollo del proyecto fue tal que se desarrolló en la mitad del tiempo, que por lo general toma desarrollar este tipo de proyectos, una vez desarrollado fue revisado por 10 veces antes de ser aprobado con el 91% en febrero de 2003, luego fue aprobado por el consejo de normas de la IEEE el 12 de Junio del 2003.

La creciente adopción que tiene este tipo de tecnología a nivel mundial, el establecimiento de un estándar es necesario por tema de fiabilidad, seguridad tanto a las empresas eléctricas como al usuario, entre otros.

El no tener un estándar era uno de los principales limitantes para el desarrollo y la implementación de proyectos de fuentes de GD, la conexión de una fuente de GD a la RD debe cumplir una serie de requisitos técnicos con la finalidad de lograr una operación eficiente y segura en la RD cuando las fuentes de GD se encuentran operando; La función general de la RD es suministrar energía eléctrica a los usuarios, manteniendo un nivel de voltaje uniforme que se encuentre dentro de los rangos admisibles, los que se denomina calidad de servicio; Esto a su vez condiciona al generador distribuido para su conexión a la RD.

Esta norma se centra en la evaluación de la interconexión propiamente, no en los tipos de tecnología de la GD, la norma es neutral en cuanto a la tecnología utilizada.

La norma establece criterios y requisitos necesarios para la interconexión, sin embargo no debe ser necesariamente una guía de diseño o un manual de aplicación. Señala los requisitos técnicos funcionales mínimos universales, para realizar una interconexión segura.

Entre las consideraciones básicas incluidas en la normativa IEEE 1547 tenemos:

- La GD no debe afectar el nivel de voltaje suministrado a los usuarios, los límites de voltaje deben mantenerse dentro del margen establecido en la norma ANSI C84.1, Range A.
- La unidad de GD debe tener la capacidad de sincronizarse con el sistema al que se conecta, sin que provoque una fluctuación mayor a  $\pm 5\%$  del nivel del voltaje

operativo.

- La unidad de GD debe tener la capacidad de responder a condiciones anormales que influyan en el nivel de voltaje y potencia del sistema.
- En cuanto al requerimiento de protecciones, para la interconexión con el sistema se debe considerarse parámetros como el calor efectivo, valor de la frecuencia, voltaje línea – neutro. De acuerdo a la Tabla 5 se establece que cuando una unidad de GD presente un nivel de voltaje inferior a los descritos, esta deberá suspender su alimentación al sistema.

Rango de Voltaje (% de voltaje base)	Tiempo de Despeje (segundos)
$V < 50$	0,16
$50 \leq V < 88$	2
$88 \leq V < 120$	1
$V \geq 120$	0,16
<b>Nota: Voltajes nominales establecidos en la norma ANSI C84.1</b>	
<b>GD <math>\leq</math> 30 kW, máximo tiempo de despeje</b>	
<b>GD <math>&gt;</math> 30 kW, tiempo de despeje por defecto</b>	

**Tabla 5: Niveles de voltaje establecidos para despeje con protecciones.**

*Fuente: Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE 1547.2 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems," vol. 2, pp. 23–45, 2009.*

- Para Fuentes de GD con capacidad de generación menor a 30 kW de capacidad pico, el ajuste de voltaje y el despeje de fallas puede ser ajustable o fijo, para unidades mayores a 30 kW únicamente será ajustable.
- Para realizar la medición del nivel de voltaje en el punto de conexión de la GD, se debe cumplir con los siguientes requisitos.
  - La capacidad del sistema de GD conectada al sistema es menor o igual a 30 kW.
  - El equipo utilizado para la interconexión debe ser certificado para a prueba de aislamiento.
  - La capacidad de GD es menor que el 50% de la carga total del sistema

operando a mínima carga, y no se permite exportar la potencia.

- Para generadores síncronos utilizados en GD, deben contar con funciones de protección para el asincronismo, para aislar la unidad de GD sin la intervención de ningún retardo intencional.

La Figura 20 muestra la normativa desarrollada para el proyecto P1547, sus actividades potenciales y discusión en el grupo de trabajo SCC211

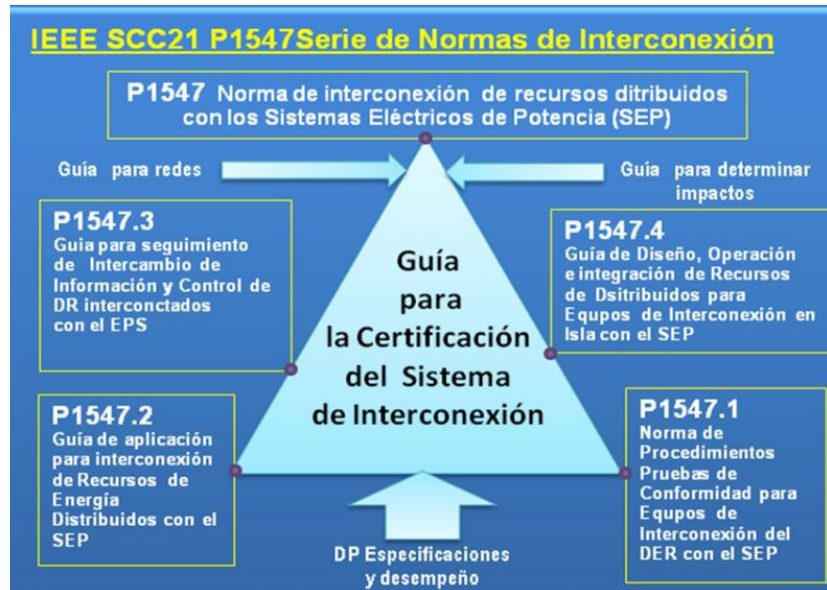


Figura 20: IEEE P1547.2 series of standards for interconnection.

*Fuente: Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE 1547.2 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems," vol. 2, pp. 23–45, 2009.*

#### 1.4.1 Condiciones

Para la reconexión, la fuente de GD no se reconectará, hasta que el nivel de voltaje en la RD, se encuentre dentro del rango establecido, el tiempo de reconexión debe ser superior a 5 minutos después del disturbio, previamente verificando la continuidad del nivel de voltaje en la RD[8].

El Standard también establece puntualmente las siguientes consideraciones para GD:

- El GD no regulará el voltaje en el punto común de conexión a la RD.
- No causará sobre voltaje en la RD de la empresa eléctrica.
- No interferirá con la coordinación de protecciones del alimentador primario en

el que se encuentra conectado.

- Para la sincronización, no causará variaciones mayores al 5% del nivel de voltaje nominal.

## CAPÍTULO II

### **Red Eléctrica de Distribución y Fenómenos Dinámicos**

Los fenómenos por los cuales se produce un cambio en el nivel de voltaje en una RD, son varios sin embargo el sistema tiene la capacidad de mantener, restaurar el equilibrio entre la carga y la generación del sistema, la inestabilidad de voltaje es el aumento o disminución progresiva del nivel de voltaje en diferentes nodos de la red.

La principal causa para la inestabilidad de voltaje es la respuesta que tiene las cargas frente a una perturbación en la red. La potencia requerida por las cargas, tiende a ser restaurada por acción de los reguladores de voltaje de la RD, transformadores con toma de cargas entre otros elementos. Cuando las cargas son restauradas se produce un aumento en el nivel de voltaje de la RD, lo cual también se ve reflejado en la red de media tensión debido al incremento de consumo de potencia reactiva. Cuando esta situación no es controlada a tiempo produce que las cargas tengan un consumo de potencia mayor de la capacidad de la red a la cual están conectadas, lo que produce finalmente un colapso y la caída en cascada del sistema[31].

#### **2.1 *Impacto en la Estabilidad de Tensión por la Generación Distribuida en las Redes de Distribución***

La estabilidad de voltaje es la capacidad que tiene el sistema para mantener niveles de voltaje de acuerdo con la normativa en todas sus barras, en este proyecto se analiza la estabilidad en una barra de la RD. La estabilidad de voltaje tiene relación directa con la capacidad que tiene el sistema de proveer potencia reactiva requerida durante su normal funcionamiento, así como durante una perturbación. Se considera que un sistema es inestable cuando al inyectarse potencia reactiva su nivel de voltaje no se eleva.

De acuerdo a lo revisado en el capítulo 1, evaluando el comportamiento de las fuentes de GD según su fuente primaria de energía, es importante realizar un estudio de la estabilidad de voltaje en la RD.

Como lo hemos referido en el primer capítulo las RD no fueron diseñadas para funcionar en paralelo con las fuentes de GD, lo que hace necesario el determinar cuáles son los efectos en el nivel de voltaje cuando existe la interconexión de GD.

### 2.1.1 Parámetros que intervienen en la integración de GD

Existen diferentes parámetros que deben ser considerados para lograr cuantificar el nivel de energía que la GD aporta a la RD, es decir dentro de un sistema de distribución se considera un número de fuentes de GD y su capacidad de generación. Para esto existen dos parámetros: el nivel de penetración y el nivel de dispersión, los cuales nos permiten tener una visión más amplia de la integración de GD a la RD[32].

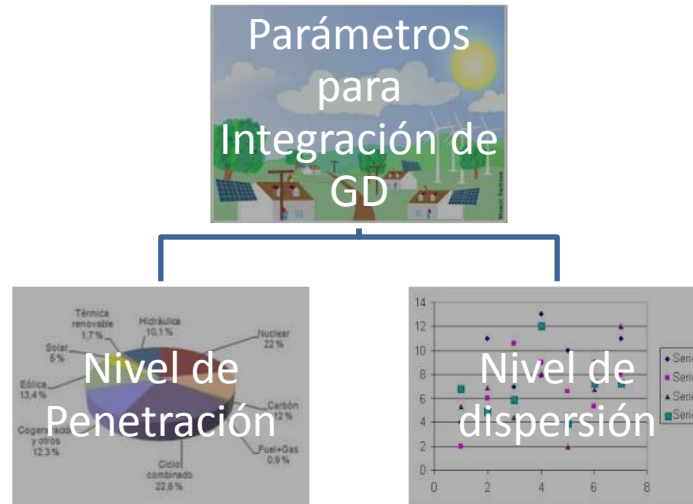


Figura 21 Parámetros para la integración de GD.

Fuente: Microsoft Visio, Autor.

#### 2.1.1.1 Nivel de Penetración de la GD

El nivel de penetración (%Nivel GD), es la fracción de la carga total del sistema (Pload), que es servida por la GD.

$$\%Nivel\ GD = \frac{P_{GD}}{P_{load}} * 100\% \quad \text{Ecuación 3}$$

Si se considera únicamente a la generación centralizada, el nivel de penetración es el 0%, al contrario cuando el nivel de penetración es del 100%, esto quiere decir que la potencia instalada por parte de la GD es igual al nivel de carga de la RD.

Según el nivel de penetración se puede tener varios escenarios:

- **Baja Penetración:** Va a ser considerado cuando el nivel de penetración sea menor al 30%, este caso considera a un mercado plagado de políticas y reglamentos complicados que ofrecen pocas ventajas a la GD, lo que hace casi

indiferente la conexión de este tipo de unidades a la RD.

- Media Inclusión: Este caso contempla que la mitad del nivel de carga para la RD, sea igual a la potencia instalada por la GD, esto implica que el mercado si muestra una gran apertura y beneficios considerables a la GD.
- Caso Ideal: Se considera que la carga que posee la RD, es igual a la capacidad instalada por la GD, este mercado se plantea totalmente abierto, en que la interacción entre la carga
- Caso Utópico: Se considera cuando la capacidad instalada por parte de la GD, es superior a la carga, lo que permite realizar la exportación de energía eléctrica a la RD, en este caso el mercado es tan abierto que permite la libre comercialización por parte de la GD con la generación centralizada.

#### 2.1.1.2 Nivel de Dispersión de la GD

Este parámetro analiza la localización de la GD dentro de una determinada área de la RD, en función de los nodos que tengan la carga conectada.

Es decir el nivel de dispersión (%Dispersión GD), es la relación entre el número de nodos en los cuales se tiene instalada GD (#Bus GD), y el número de nodos en los cuales existe consumo de energía eléctrica (#Bus Load), se encuentra dado por la siguiente expresión:

$$\%Dispersión\ GD = \frac{\#Bus\ GD}{\#Bus\ Load} * 100\%$$

**Ecuación 4**

Una consideración importante es que el análisis del nivel de dispersión resulta especialmente adecuado en la GD interconectada a la RD, cuyo objetivo es abastecer la carga local total o parcialmente dentro de los sistemas radiales.

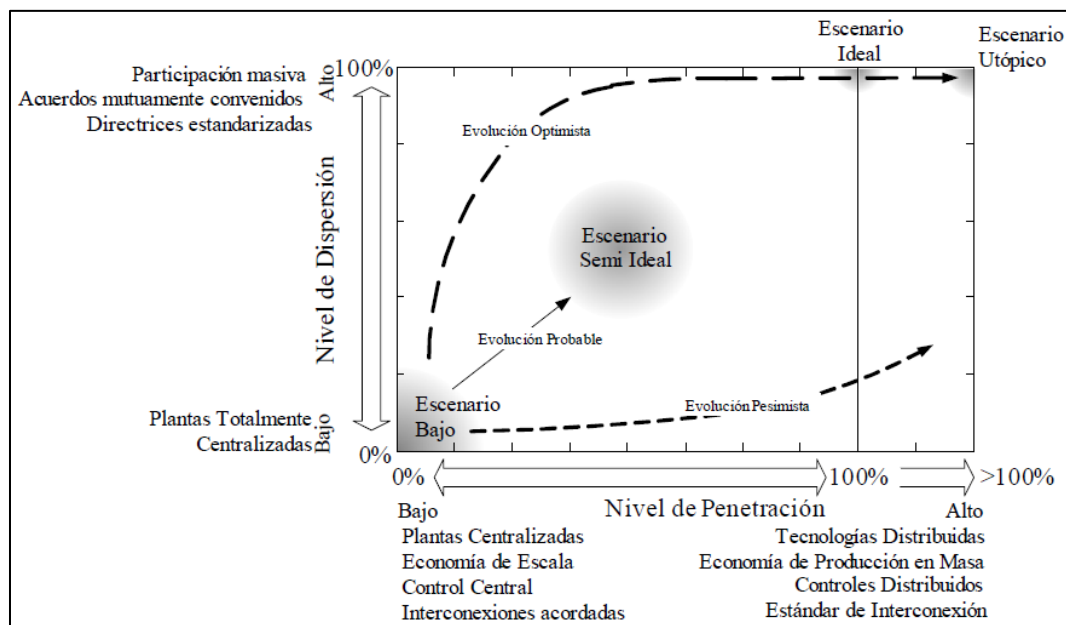
Como casos principales se consideran:

- Caso i (Baja Dispersión): Se considera cuando el nivel de dispersión es menor al 30%, este caso es posible con un mercado centralista.
- Caso ii (Dispersión Media): Este caso considera que el mitad de nodos con carga se encuentra instalada GD, este caso se considera en un mercado que ofrece incentivos por la conexión de GD a la RD.
- Caso iii (Dispersión Alta): Este caso considera dispersión en cada nodo en donde se



encuentra conectada la carga, este caso indicaría un mercado plenamente abierto así como usuarios plenamente conscientes en el beneficio de la utilización de la GD.

En la siguiente gráfica se muestra los parámetros tanto el nivel de penetración, como el nivel de dispersión, en la cual se aprecia los diferentes escenarios anteriormente descritos.



**Figura 12: Escenarios posibles de evolución entre nivel de penetración y nivel de dispersión.**

*Fuente: A. R. Wallace and G. Harrison, "Planning for Optimal Accommodation of Dispersed Generation in Distribution Networks," The University of Edinburgh, United Kingdom, pp. 1–3, 2003.*

### 2.1.2 Criterios para la Integración de GD

Al considerar la integración de GD dentro de un Sistema de distribución es necesario tener en cuenta no solo los aspectos económicos y técnicos. Es necesario comprender que la ubicación de las unidades de GD así como el nivel de generación que poseen y finalmente el momento de ingresan o salen de funcionamiento es un tema complejo cuando se considera que en un escenario optimista se van a tener varias fuentes de GD en una RD. El tema para manejar la incertidumbre que genera tanto la ubicación de la unidad de GD como el dimensionamiento de la misma hace necesario definir un mecanismo para poder manejar estas variables [33].

Al ser necesario considerar un criterio para la integración de unidades de GD, el cuál va a priorizar la carga en la RD, se considera:

➤ **Instalación de Generación Distribuida en la RD.**

En el tema de instalación por lo general lo va a realizar el usuario, al tener establecidos previamente acuerdos que beneficien a ambas partes, lo que implica que la unidad de GD puede estar instalada en cualquier punto de la RD, previa evaluación técnica en cuanto a la factibilidad que presenta por el tema de interconexión. Una de las consideraciones es que la unidad se instalará al nivel de voltaje propio de la RD.

➤ **Prioridad de Integración para unidades de GD.**

Considerando que las unidades de GD van a ser instaladas en varios puntos y con capacidades de generación diferentes, no se encuentra previsto el orden o la prioridad con la que las unidades van a entrar en funcionamiento, puede ser considerado un punto de conflicto ya que tanto el usuario como dueño de la unidad de GD, y el operador de la red, tienen interés en el abastecimiento a la RD.

Un criterio acertado es que la unidad de GD, está diseñada para cubrir parte de la carga local de la RD, por lo tanto se considera como prioridad que la RD dependiendo de su densidad de carga, por citar un ejemplo una densidad de carga alta se considera el tener 80 usuarios /10.000mts<sup>2</sup>, así mismo una densidad de carga baja es 7 usuarios/10.000mts<sup>2</sup>, por criterio de soporte a la densidad de carga se priorizaría el uso de GD en sitios con alta densidad de carga.

## **2.2 Factores Dinámicos que Afectan la Estabilidad del Voltaje en la Red de Distribución.**

Para la evaluación en régimen dinámico, se considera la curva de demanda promedio, la velocidad del viento y radiación solar durante un horizonte de un día. La GD va a ir ingresando en funcionamiento en paralelo a la RD de acuerdo a sus parámetros propios de operación. Para este trabajo se considera como fuentes de generación distribuidas la generación fotovoltaica y eólica.

El número de fenómenos que se presenta en régimen dinámico es amplio, sin embargo para el caso estudio de la presente tesis se ha considerado:

La respuesta que tiene el sistema a través del tiempo cuando se produce cambio en el balance generación - demanda.

La estabilidad tensión ha sido reconocida como un problema importante dentro de la operación de un sistema eléctrico, en consecuencia la integración de GD se debe considerar como un problema dinámico, ya que las fuentes de generación en el presente trabajo son generación eólica y fotovoltaica.

Dentro del esquema de estabilidad en un sistema eléctrico de distribución, existen diferentes parámetros que responden de forma inmediata ante cualquier perturbación.

### **2.2.1 Respuesta del Generador Eléctrico.**

Tomando en consideración que la unidad de GD se encuentra operando en paralelo a una red de gran potencial que a su vez puede ser considerada como una barra de potencial infinita, para este caso se toma en cuenta el generador eléctrico trabajando sin ningún tipo de control que pueda proporcionar una regulación o gobernación al generador, en tal instancia se considera al generador sincrónico y de inducción trabajando en estado natural.

Existe la configuración de generador doblemente alimentado de velocidad variable, aunque están compuestos por electrónica de potencia por parte del generador, en su mayoría estas unidades son conectadas directamente a la red.

En el caso del aerogenerador, se tiene diferentes mecanismos que tienen como objetivo principal mantener la estabilidad de voltaje en los terminales del aerogenerador. En relación a esto se toma como ejemplo en este caso cómo se comporta el aerogenerador ante un aumento del flujo de viento, por lo tanto la generación nominal se va a ver afectada.

Inicialmente cuando el aerogenerador detecta un aumento en la velocidad del rotor, responde ante el cambio variable de velocidad con un control integrado de velocidad que posee en el rotor, además del control de voltaje que posee en los terminales, los cuales actúan sobre el control electrónico de potencia que posee el generador eólico.

Por lo que la velocidad de giro del rotor en el generador sincrónico doblemente alimentado, es superior inicialmente a la sincrónica. El controlador de velocidad responde rápidamente frente a un impulso pequeño de forma sobre amortiguada. El voltaje y la potencia activa en los terminales son notablemente rápidos, para acercarse al nuevo estado, posteriormente se genera un comportamiento sobre amortiguado que se

mantiene durante algún periodo hasta que el valor en los terminales se estabilice por completo.

### 2.2.2 Comportamiento del Viento en Generadores Eólicos

Al intentar extraer la energía cinética del viento mediante un aerogenerador, se evidencia que su velocidad disminuye ya que las aspas deben absorber la energía suficiente del viento para trasladarla al rotor, y producir el movimiento.

Considerando que la energía eólica es una masa cinética en movimiento, se deduce la siguiente ecuación en donde la energía cinética se define como:

$$Ec = \frac{1}{2} m * v^2 \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

m = Masa de aire en Kg.

v = Velocidad instantánea del viento en (metros/segundo)

La masa de dicha cantidad de aire es definida por:

$$m = \rho * v \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

$\rho$  = Densidad del aire 1,25 Kg/m

v = Volumen del cilindro barrido

Por lo que la potencia del viento contenida en una masa de aire que atraviesa una área denominada A, con una velocidad denominada v.

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A [W] \quad \text{Ecuación 7}$$

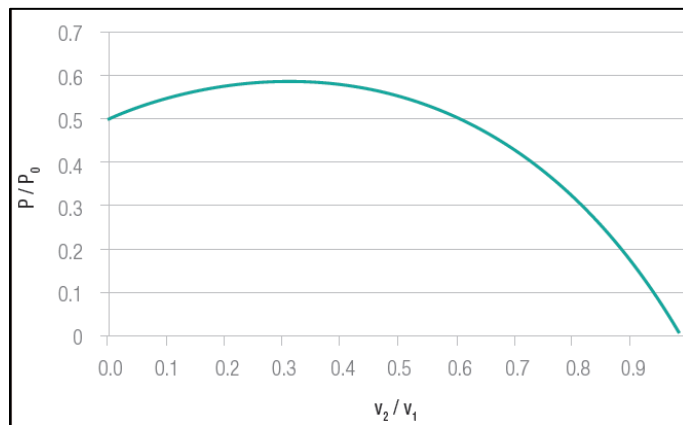
Dónde:

v = velocidad del viento en [m/s]

A = Área perpendicular a la corriente del aire en  $[m^2]$

$\rho$  = Densidad del aire en  $[kg/m^3]$

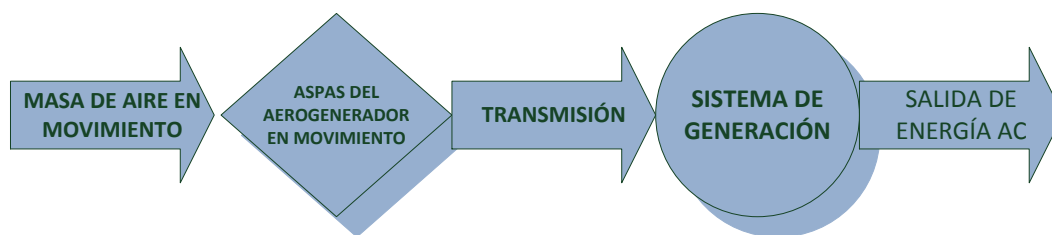
Esta fórmula es considerada como toda la energía contenida en una masa de aire en movimiento, existe una ley formulada por el científico alemán Albert Betz, en su publicación “Wind – Energie” en el año 1926, esta ley hace referencia a que menos del 16/27 de esta energía es lo que puede utilizarse como energía mecánica, para que un aerogenerador pueda producir energía eléctrica [34]. La Figura 22 muestra la curva generada con la ley de Betz.



**Figura 22 Energía extraíble del viento según la ley de Betz.**

*Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER., “Atlas eólico del Ecuador Con fines de generación eléctrica,” Potencial Eólico Ecuador, pp. 8, 2013.*

La Figura 23 muestra el diagrama de bloques que identifica el trabajo del aerogenerador y sus componentes básicos.



**Figura 23 Diagrama de bloques generador eólicos.**

*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

En función de la velocidad se deducen las siguientes acotaciones:

Si la velocidad es baja, el aerogenerador no logra romper la inercia y no puede producir energía eléctrica.

Para cuando la velocidad del aerogenerador se encuentra entre la mínima y la nominal se produce un efecto en el que aerogenerador logra producir una parte de la potencia

nominal, la cual no puede ser constante ya que el viento no proporciona un flujo constante.

Si la velocidad se encuentra entre la nominal y la máxima, el aerogenerador entrega la potencia máxima generable.

Para cuando la velocidad es mayor a la máxima, existen dos posibilidades dependiendo del aerogenerador, la primera instancia es que el aerogenerador posee un sistema mecánico de frenado, en el que automáticamente al detectar un aumento de la velocidad, procede a frenar manteniendo la velocidad dentro del rango admisible, en segunda instancia si la velocidad supera a la máxima, el aerogenerador cesa su funcionamiento a fin de auto protegerse.

Para el presente estudio se considera el histograma de viento en el que se va tomar como referencia el nivel de generación del aerogenerador de acuerdo a la velocidad de viento instantánea.

### **2.2.3 Comportamiento de la Energía Solar Fotovoltaica.**

Tomando en cuenta que no toda la radiación solar llega a la tierra, es importante conocer, qué porcentaje de esta radiación puede ser utilizada y como puede optimizarse su uso para generar electricidad mediante paneles solares.

Una vez teniendo presente el porcentaje que puede utilizarse es necesario indicar que el nivel de potencia que puede ser generado por un panel fotovoltaico depende de la radiación solar que incide en su superficie, además de otros factores como presión y temperatura.

Los paneles solares tienen como característica que su superficie de conversión no varía frente a la variación de las radiaciones solares, depende principalmente del material del que se construyen las celdas fotovoltaicas, por lo que para hacer referencia a la potencia generada por un panel fotovoltaico se recurre a la siguiente ecuación:

$$P[W] = A \cdot I \cdot \eta \quad \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

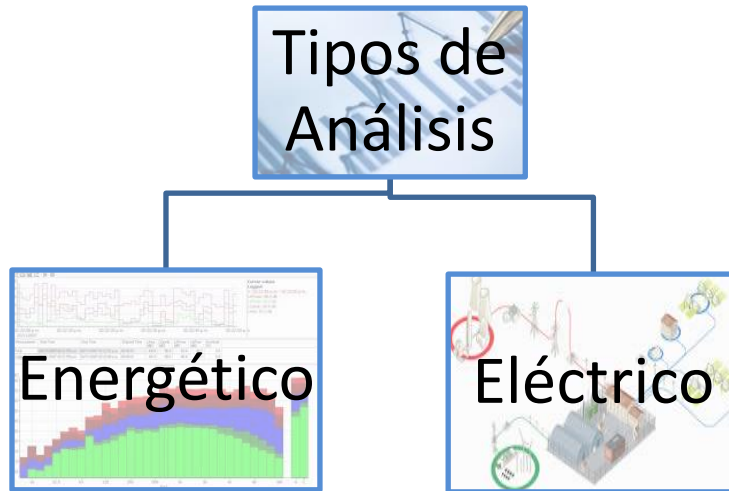
A= Área del panel fotovoltaico en [m<sup>2</sup>].

$I$ = Radiación incidente en el panel fotovoltaico, en  $[W/m^2]$

$\eta$ =Factor de conversión del panel fotovoltaico.

### 2.3 Metodología de Análisis

Para el análisis es necesario diferenciar la parte energética y la parte eléctrica de las fuentes de GD eólicas y fotovoltaicas con las que se trabaja, en la Figura 24 Tipos de Análisis con GD. En la Figura 24 se muestra 2 tipos de análisis.



**Figura 24 Tipos de Análisis con GD.**  
*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

#### 2.3.1 Análisis Energético

Este tipo de análisis se utiliza para las centrales eléctricas en el Ecuador, un ejemplo de esto es la planificación del despacho económico diario, semanal de las centrales hidroeléctricas que lo realiza en nuestro país el CENACE. Para realizar estas estimaciones utiliza diversas herramientas, entre las cuales constan los histogramas sobre el comportamiento anual del recurso hídrico en nuestro país, sumado a esto se evalúa la estación climática, el nivel de embalse, entre otros parámetros.

Luego de tener una estimación sobre la disponibilidad de generación hidráulica, se procede a incluir en régimen horario, el nivel de generación en cada central, además de prever la disponibilidad de alguna central más para tener un margen de reserva de potencia en caso de alguna contingencia que pueda amenazar al sistema.

Es importante aclarar que por tema de costo, no se puede poner a trabajar a una o varias

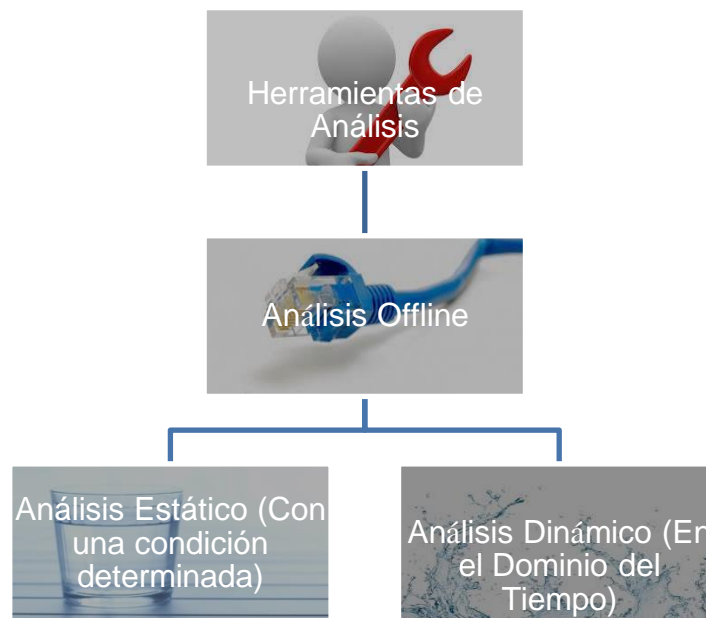
centrales a su capacidad máxima, ya que el sistema tiene pérdidas de voltaje a lo largo de la transmisión, es por esta razón que incluso cuando la carga tiene un valor pequeño relativamente de acuerdo a la curva de carga diaria, deben trabajar varias centrales, con una potencia moderada, sin tener que exigir al máximo a las generadoras, por tema de costo.

### 2.3.2 Análisis Eléctrico

En el análisis eléctrico tiene diferentes parámetros de análisis como son:

- Estabilidad Transitoria
- Estabilidad de Voltaje (corto plazo)
- Estabilidad de Frecuencia

Cada una de estos estudios requiere su respectivo análisis, para esto existen varias metodologías para la estabilidad de tensión, en la Figura 25 se puede observar las herramientas para el análisis de las fuentes de GD que el presente estudio van a utilizarse.



**Figura 25 Herramientas de análisis utilizadas.**

*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

Dentro del análisis off-line existen dos categorías, el análisis estático, con este escenario se puede analizar la GD conectada a la RD, mediante un análisis de flujo de potencia y voltaje en las barras del sistema en una condición de operación determinada.



El análisis dinámico, en este régimen contempla la capacidad que tiene el sistema para volver a un punto de equilibrio después de haber pasado por una perturbación, un ejemplo claro son cómo reacciona el sistema frente a cambios en los valores de demanda que tiene un sistema eléctrico. Para este tipo de simulaciones en casos de generación distribuida se puede tener como parámetros de entrada que son objeto de estudio en el análisis energético, en donde de acuerdo a un histograma sobre el comportamiento del viento, así como del sol, se establece mediante un estudio de probabilidad, la mediana, y la desviación estándar, con lo que se prevé va a realizarse una estimación del horario de operación de la GD en el presente trabajo [13].

Para los casos a simularse se van a tener como referencia, tres curvas de operación diaria:

- Curva de Demanda diaria.
- Curva de Viento diaria (de acuerdo a histograma)
- Curva de Radiación de sol ( de acuerdo a histograma)

La interacción de estas curvas en los casos a ser simulados, además de los niveles de penetración de GD en la barra, permiten visualizar el impacto de la estabilidad de voltaje en la RD tomada como ejemplo.

Con la finalidad de entregar a los usuarios un suministro eléctrico que tenga una calidad de servicio aceptable bajo condiciones normales así como también proteger la integridad del sistema cuando se presentan condiciones anormales, es necesario cumplir con etapas tales como: la planificación, diseño, construcción y operación de un sistema eléctrico [35].

### **2.3.3 Tratamiento Estadístico de Datos**

El número de “n” mediciones realizadas no procesadas, sean estas numéricas denominadas “cuantitativas” o de categoría denominada “cualitativas”, que se llevan como registro con un intervalo de tiempo determinado, cuando no son objeto de estudio son archivadas de diversas maneras, cuando los datos son requeridos para ser evaluados se realiza diferentes cálculos que logran dar un resultado simplificado, del número “n” de mediciones[36].

#### 2.3.3.1 Estadística Descriptiva

Este tipo de estadísticas tienen como objetivo describir las características importantes o relevantes de las “n” mediciones realizadas.

#### 2.3.3.2 Mediana Estadística

Cuando se tiene un conjunto de datos, la variable estadística representa el valor de la variable en la posición central, por lo tanto el conjunto de datos menores o iguales que la mediana representarán el 50% de los datos, y los datos que sean mayores que la mediana representan el 50% restante del total de la muestra, la Mediana coincide con el segundo cuadril.

Dicho de otra manera, la mediana representa el punto central de la totalidad de datos ordenados de menor a mayor. Se la representa como “ $M_e$ ”, este análisis es válido solamente para variables cuantitativas.

Para realizar el cálculo se ordena los datos de menor a mayor, en caso de que la serie tenga una cantidad impar de datos, la mediana es la puntuación central de la misma, ejemplo; 2,3,4,4,5,5,5,6  $M_e=5$

Cuando la serie tiene un número par de puntuaciones, la mediana es la media entre las dos puntuaciones centrales, ejemplo: 7,8,9,10,11,12  $M_e=9.5$

#### 2.3.3.3 Mediana Aritmética

Cuando se tiene un conjunto finito de números, la media aritmética es el valor característico de esta serie de números que parte de la esperanza matemática o valor esperado, el valor se obtiene sumando el total de datos, dividido para el número de datos ingresados. La siguiente expresión define lo antes mencionado.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \quad \text{Ecuación 9}$$

#### 2.3.3.4 Desviación Estándar

Para un conjunto de datos, es una medida de dispersión, la cual nos indica cuanto pueden alejarse los valores respecto al punto promedio o denominado media, la desviación estándar puede tomarse de un determinado conjunto de datos que se ajusten a nuestros requerimientos, la siguiente expresión muestra la fórmula a utilizarse.

$$\sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Ecuación 10

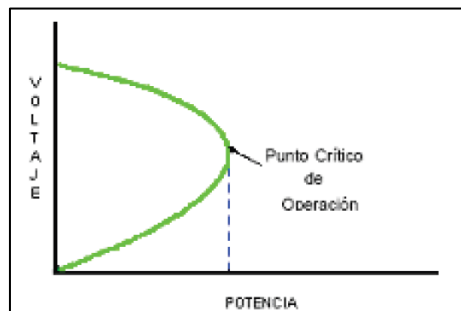
#### 2.3.4 Utilización de curva PV

La curva PV (Potencia – Voltaje) se denomina así ya que su eje “x” es la potencia y su eje “y” es el voltaje, al variar progresivamente la carga en la barra del sistema que se está analizando y ver lo que ocurre con el voltaje.

En

la

Figura 26 se muestra la representación de la curva PV.



**Figura 26: Curva PV.**

*Fuente: T. van Cutsem and V. Costas, Voltage Stability of Electric Power Systems, Springer. 1998*

El punto crítico de operación es en el cual el sistema llega al colapso. Antes de llegar al punto crítico partiendo desde el eje del voltaje existen dos soluciones posibles, el superior es un valor que se puede alcanzar durante la operación de la RD, el inferior es un valor matemático, el cual no puede ser alcanzado durante la operación ya que para estos valores el sistema se comporta inestable[37].

Al saber cómo es el comportamiento de la curva, el sistema debe operar lo más lejano posible al punto crítico para evitar tener problemas de estabilidad de voltaje.

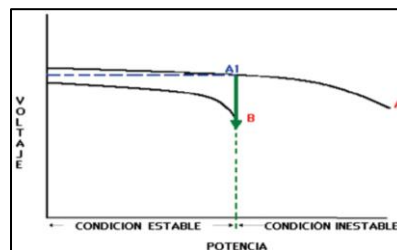
El punto crítico de la curva PV, es donde se produce una disminución considerable de voltaje en el sistema, lo que puede llevar al colapso, a este punto se lo denomina también nariz de la curva lo podemos identificar en la Figura 27.



**Figura 27 Punto crítico en la curva PV.**

*Fuente: T. van Cutsem and V. Costas, Voltage Stability of Electric Power Systems, Springer, 1998*

La curva PV, no es general para el sistema sino es específica para cada barra, en este trabajo se va a utilizar una para la RD. El aumento progresivo de la carga va a dar diferentes puntos en el eje del voltaje, la conformación de estos puntos da como resultado la estabilidad del sistema. Para comprender de mejor manera la estabilidad de voltaje analizamos la Figura 28, donde se ejemplifica las condiciones de trabajo de la curva PV.



**Figura 28 Condiciones de la curva PV.**

*Fuente: T. van Cutsem and V. Costas, Voltage Stability of Electric Power Systems, Springer, 1998*

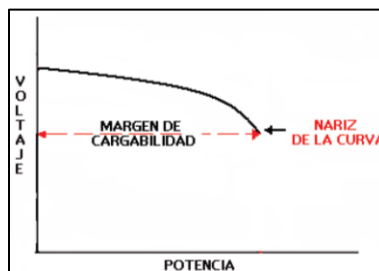
En la curva “A” se puede notar que el voltaje permanece estable hasta el punto “A1”, luego de esto el voltaje comienza a disminuir cada vez más rápido hasta llegar al punto “A”. La curva “B” representa un evento tal como la desconexión de una línea de transmisión, lo que causa que los voltajes en la barra en donde se está analizando el voltaje sean menores a la curva de referencia entre los puntos “A1” y “A”. Este evento causa que la curva cambie sus condiciones iniciales y se tenga que considerar como curva de referencia la nariz de la curva “B” como condición inicial.

La curva PV puede obtenerse a partir de dos métodos:

- Primero: El aumento de la carga en la zona de estudio y el aumento de la generación externa.
- Segundo: El aumento de los flujos a través de una interfaz, esto quiere decir,

cambiando de generación en la zona considerando a la zona externa). Se considera como zonas externas áreas con recursos limitados o zonas rurales en las cuales se puede tener un generador ficticio, con el objetivo de obtener el margen de cargabilidad, dicho generador no va a suministrar potencia reactiva para que no modifique los resultados de la curva PV[37].

Para el presente trabajo se va a utilizar el primer método, la distancia que existe desde el eje de la carga (eje “y”), hasta la nariz de la curva se define como “margen de cargabilidad” en la Figura 29 se muestra, a continuación la definición.



**Figura 29 Margen de Cargabilidad de la Curva PV.**

*Fuente: T. van Cutsem and V. Costas, Voltage Stability of Electric Power Systems, Springer, 1998*

#### **2.3.4.1 Margen de Cargabilidad**

Dado un parámetro de incremento específico, el margen de cargabilidad, es la cantidad de carga que puede soportar el sistema antes de que se produzca un colapso. Dicho en otras palabras es el índice de colapso de voltaje, en sistemas grandes se utiliza como datos estadístico evaluando durante periodos largos para determinar la robustez que posee el sistema en diferentes puntos.

Entre las definiciones más acertadas en cuanto al margen de cargabilidad se considera como: cambios en la carga total, cambios en la potencia activa, etc.

El considerar el margen de cargabilidad provee beneficios como:

- El margen de cargabilidad es particular para cada barra. Es de medida directa y fácil interpretación.
- La dinámica de la carga es irrelevante para el margen de cargabilidad.
- Representa un índice exacto que considera las no linealidades, y los límites de la barra que se analiza, las cuales no se ven reflejadas directamente en el margen

de cargabilidad.

- El margen de cargabilidad toma en consideración el patrón de incremento de carga.

Como desventaja el margen de cargabilidad considera:

- Una de las principales desventajas es que requiere calcular puntos lejanos del punto de operación actual lo cual requiere un mayor cálculo computacional.
- El margen de cargabilidad necesita suponer una dirección de incremento de carga, estos datos no son fáciles de obtener.

Para calcular el margen de cargabilidad, se inicia en el punto operativo actual, realizando pequeñas variaciones en la carga y calculando el flujo de potencia hasta que se alcance la punta de nariz en la curva PV. En la práctica se utilizan los métodos de flujos de continuación y métodos directos (método del punto de colapso).

### **2.3.5 Análisis en Régimen Estacionario**

Para este caso se va a evaluar mediante flujos de potencia, cuyo objetivo principal es verificar la operación del sistema en condiciones normales, al tener la integración de unidades de GD.

- Límite de Nivel de Voltaje.

Cuando se habla de límite de Nivel de Voltaje se describe el proceso y los equipos que son utilizados dentro de la RD, para mantener el nivel de voltaje en el rango establecido, lo fundamental es tener una buena regulación así como también una buena estabilidad del nivel de voltaje, estos dos parámetros son críticos ya que si no se tiene controlado de una manera eficiente el nivel de voltaje, las cargas que se encuentran conectadas a las barras de la RD pueden estar en riesgo de operación debido al nivel de voltaje. Es por esta razón que la regulación del nivel de voltaje es fundamental en el diseño de un sistema eléctrico, aún más el efecto que puede producir la conexión de unidades de GD a la RD.

- Potencia Reactiva.

El control del nivel de voltaje está directamente relacionado al flujo de potencia

reactiva que se encuentra dentro de un sistema eléctrico, por lo que es necesario conocer si los flujos de potencia reactiva son demasiado como para cumplir con la regulación del nivel de voltaje, también para conocer si los equipos empleados para el control de voltaje están trabajando normalmente o al límite.

Para realizar este análisis se va a tomar la operación de la RD en un horizonte de tiempo determinado, así como parámetros nominales para fuentes de GD tanto eólica como solar; la comparación para cuantificar el impacto que tiene la integración de fuentes de GD a la RD, se lo realizará midiendo los flujos de potencia, como caso base inicialmente se va a tomar la operación normal de la RD (sin integrar fuentes de GD), como segundo caso se va a tomar la operación de la RD incluyendo fuentes de GD con diferentes intervalos de tiempo a la misma. La diferencia entre el primer estado y el segundo nos va a permitir cuantificar cual es el impacto en el nivel de voltaje por la integración de fuentes de GD a la RD.

#### ➤ Regulación de Voltaje

Una de las funciones de las empresas eléctricas es mantener el nivel de voltaje, para que el usuario lo reciba con un nivel adecuado sin generar un perjuicio en ningún elemento conectado a la red, el nivel admitido establecido en el Ecuador depende del CONELEC que es el ente regulador, localmente la Empresa Eléctrica Quito [29].

### **2.4 *Gestión del Recurso de Generación Distribuida Para Minimizar el Impacto en la Estabilidad de Tensión.***

Debido a que ciertas fuentes primarias de energía no son constantes, las diferentes aplicaciones de GD han realizado una evaluación con la finalidad de entregar un suministro de energía constante y de calidad.

Es por esta razón cada tecnología ha realizado sus esfuerzos para minimizar el impacto cuando se produzca conexión en la RD[9].

#### **2.4.1 Generadores Eólicos**

La tecnología utilizada por parte de los generadores eólicos, no tiene una tendencia en cuanto al funcionamiento, voltajes nominales de generación, capacidad de generación, entre otras opciones que se muestran como opción a ser utilizadas en la aplicación requerida, teniendo en cuenta la velocidad rotacional se puede realizar una clasificación

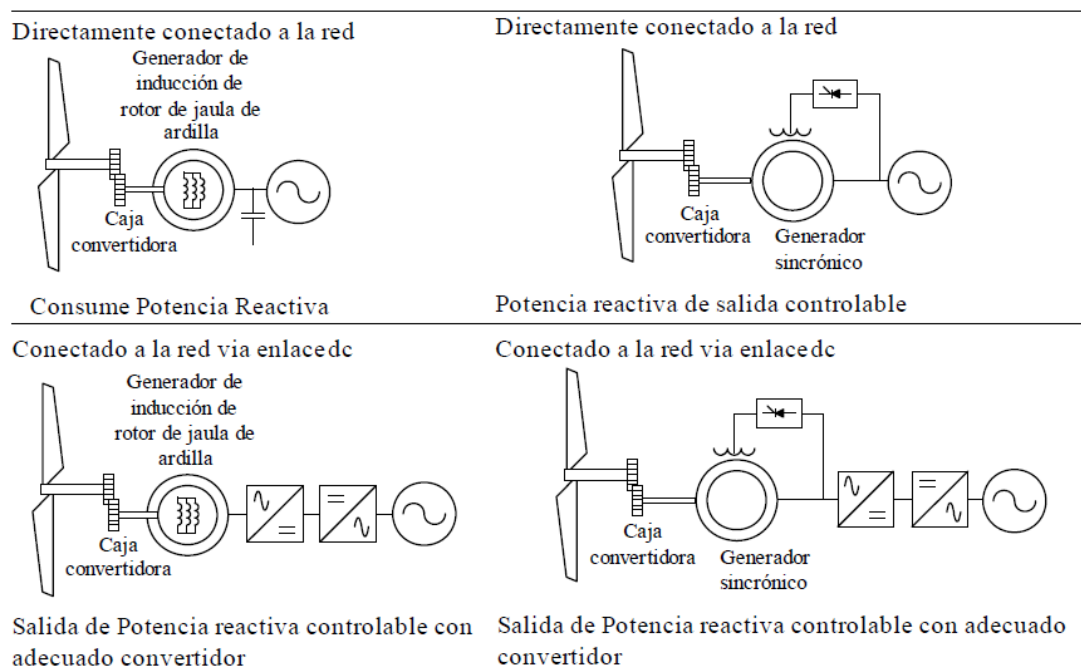
de estas turbinas[38].

#### 2.4.1.1 Tipos de Generadores Eólicos

En el caso en que el generador eólico sea una máquina de velocidad fija se conecta directamente a la RD, siendo la frecuencia de dicha red la que determina la velocidad rotacional del generador y en consecuencia la del rotor; Teniendo en cuenta la baja velocidad del rotor de la turbina, es transmitida a la velocidad rotacional del generador por una caja de transmisión de velocidad, con una relación de trasmisión establecida[38].

La velocidad del generador depende tanto del número de pares de polos, así como de la frecuencia eléctrica de la red.

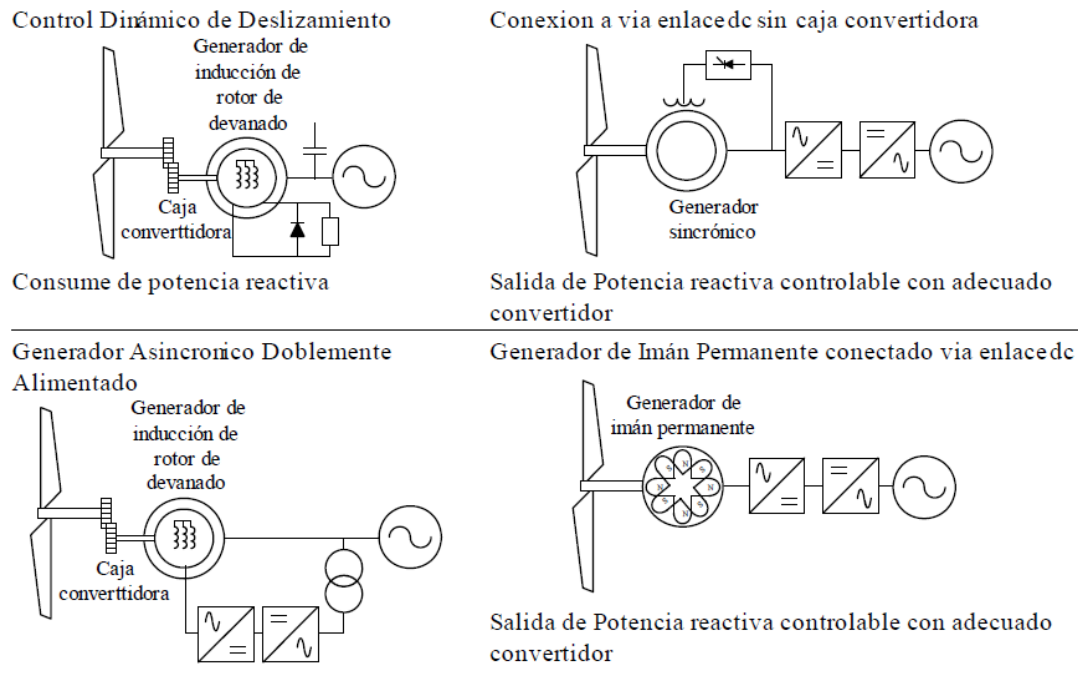
En la Figura 30 podemos ver los diferentes configuraciones de los sistemas de generación de turbinas de viento.



**Figura 30 Diferentes configuraciones de sistemas de generación para generadores eólicos**

*Fuente: S. Fritz and G. J. Gerdes, "Wind Turbine Grid Connection and Interaction," Tech-wise A/S, vol. 5, pp. 9–15, 2001.*





**Figura 30 Diferentes configuraciones de sistemas de generación para generadores eólicos.**

*Fuente: S. Fritz and G. J. Gerdes, "Wind Turbine Grid Connection and Interaction," Tech-wise A/S, vol. 5, pp. 9–15, 2001.*

Uno de los sistemas más antiguos que se emplea para generadores de velocidad fija es el generador asincrónico o de inducción, lo que lo hace característico es el rotor jaula de ardilla que se emplea directamente acoplado a la RD, por lo que las variaciones de velocidad en este tipo de rotores es muy pequeña, oscila entre el 1 y 2% [39].

Es por esta razón que se lo denomina como turbina de velocidad fija o constante, una de las principales ventajas es su valor económico, frente al generador sincrónico, no posee el circuito de excitación, adicional a esto un mejor comportamiento, sin embargo existen también turbinas de velocidad fija con generadores sincrónicos.

La máquina de Inducción es denominada así ya que el voltaje del rotor (que a su vez produce la corriente y el campo magnético del rotor), se induce en el devanado del rotor sin que existan físicamente conexiones por medio de conductores.

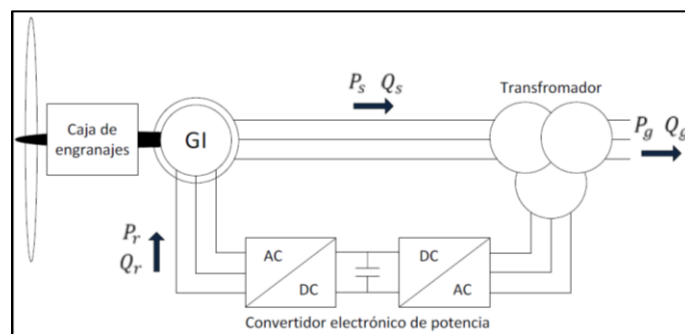
El rotor de un generador de inducción está compuesto por un cilindro de acero laminado, en el cual se alojan los conductores ya sean de cobre o aluminio, de forma total o aproximadamente paralela al eje longitudinal en ranuras o agujeros en el núcleo. Los conductores no necesariamente requieren aislarse del núcleo, ya que las corrientes inducidas en el rotor, siguen la trayectoria de resistencia mínima.

El rotor jaula de ardilla se caracteriza por disponer los conductores conectados en cortocircuito en ambos extremos, mediante anillos continuos, las barras del rotor jaula de ardilla no siempre son paralelas a la longitud axial del rotor, pueden tener cierto ángulo de desviación con respecto al eje del rotor, esto para evitar saltos y producir un par más uniforme.

Una particularidad del generador de inducción del rotor de tipo jaula de ardilla es que puede trabajar a dos diferentes pero constantes velocidades, esto dependiendo del número de pares polos que posea el generador. Una consideración a tomar en cuenta es que este tipo de generadores consumen potencia reactiva, esto es una dificultad cuando el generador eólico es de un tamaño considerable y cuando la RD es débil ya que esta potencia reactiva que produce debe ser compensada con capacitores hasta lograr que el factor de potencia sea lo más cercano a 1. Este consumo de potencia reactiva es perjudicial para la estabilidad de tensión de un sistema eléctrico.

Por su parte el generador doblemente alimentado, denominado DFIG (*Doubly-Fed Induction Generation*), constructivamente es similar al generador de inducción de rotor bobinado, con la característica que su rotor se encuentra conectado a la red eléctrica mediante equipos de electrónica de potencia conocido comúnmente como convertidor (*back to back*). El estator se encuentra conectado directamente a la red, de esta manera el convertidor se diseña unidamente para el 30% de la potencia nominal de la máquina [40].

En la Figura 31 se aprecia la configuración de un generador doblemente alimentado DFIG.



**Figura 31 Configuración aerogenerador de rotor bobinado DFIG.**

*Fuente: A. Petersson, "Analysis, Modeling and Control of Doubly-Fed Induction Generators for Wind Turbines," Chalmers University of Technology, pp.12, 2005.*

El convertidor *back to back* posee un inversor y un rectificador conectados a través de un condensador (*DC-link*), el cual cumple la función de mantener el nivel de voltaje constante entre ellos[41].

Este equipo se caracteriza por ser bidireccional, el tamaño es una ventaja significativa tomando como referencia los sistemas que poseen el estator conectado a la red a través de un convertidor, dicho convertidor se diseña para el 100% de la potencia nominal.

La principal ventaja de estos equipos en comparación a otros tipos de configuraciones, es que permiten tanto absorber como inyectar potencia reactiva a la red, sin embargo esta misma característica, los hace susceptibles ante caídas de tensión propias de la red, lo que conlleva a la desconexión del equipo con la finalidad de proteger el convertidor del lado del rotor [42]. Actualmente los avances en los sistemas de control permiten enfrentar las diferentes situaciones en los parámetros de voltaje de la RD.

#### **2.4.2 Paneles Fotovoltaicos**

Para la clasificación de estos equipos se puede describir tres modos de operación[9]:

**Sistema Aislado:** Esto quiere decir que no existe una conexión disponible con la RD, normalmente esto se utiliza para alimentar una carga es decir un sistema de almacenamiento, esto puede ser baterías, las cuales se encargan de asegurar el suministro de energía eléctrica ya sea durante la noche o cuando la irradiación solar disminuya.

**Sistema Conectado a la RD:** En lugares en donde se tiene el suministro eléctrico a través de una empresa distribuidora es factible la conexión de paneles fotovoltaicos. Para realizar la conexión a la RD se utiliza una interfaz electrónica para la conversión de la energía eléctrica de DC a AC, y de esta manera se logra la interacción con la RD.

**Sistema de Respaldo:** Este tipo de conexión es utilizada cuando la RD tiene una calidad de energía deficiente o en poblados lejanos. Por lo tanto el sistema de paneles fotovoltaicos ingresa a operar una vez que la operación de la RD deja de suministrar energía. Este sistema también es conocido como Back Up.

## CAPÍTULO III

### Caso Estudio y Simulaciones

En el presente capítulo se analiza los diferentes escenarios de simulación, se explica los parámetros que intervienen dentro de las simulaciones, así como también del software que realiza el análisis de la estabilidad de voltaje.

En el caso estudio se evalúa una red eléctrica con las siguientes características:

Dentro de la RD se tiene carga y GD conectada a la misma barra. El esquema utilizado es radial debido a que la simulación está orientada a una zona residencial y dentro de circuitos secundarios este sistema es más típico dentro de las topologías en redes de distribución y por impacto de caída de tensión es más relevante su análisis en esta topología.

Entre los parámetros considerados para analizar el nivel de voltaje en la RD se tiene:

- Curva de demanda del Sistema en la barra de BT
- Curva referencial de viento en el caso de generadores Eólicos
- Curva de radiación en el caso de paneles fotovoltaicos

Para realizar el análisis en el software se ha considerado un caso en horas de alta demanda, y otro en caso en horas de baja demanda.

### 3.1 *Planteamiento de Casos a ser Simulados*

#### 3.1.1 **Software a Utilizarse**

El simulador utilizado es Digsilent Power Factory, Versión 14.1.3, es una herramienta asistida por computador para el análisis de la industria, servicios públicos, empresas eléctricas entre otras. Está diseñado como un avanzado, integrado e interactivo software que provee el análisis de control para el diseño, planificación, y optimización de diferentes sistemas eléctricos a diferente escala.

Las siglas de este programa corresponden a “Digital SIMulation Electrical Network Calculation Program”. Los resultados obtenidos por este programa han sido confirmados en varias aplicaciones, por las organizaciones que planifican el diseño y

los parámetros de operación de un sistema de energía eléctrica.

Los requerimientos de los sistemas eléctricos de potencia requieren nuevas y confiables herramientas para el análisis de diferentes escenarios de operación, así como para ayudar a los sistemas a ser más robustos ante fallas o perturbaciones.

Este software es una herramienta de ingeniería integrada que proporciona una completa técnica a través de todas sus funciones disponibles lo que lo hace práctico, en lugar de tener varios módulos de funciones con software diferentes. Algunas de estas funciones son flujo de carga, análisis armónico, coordinación de protecciones, estabilidad y análisis modal entre otras funciones.

### **3.1.2 Análisis de Estabilidad de Voltaje utilizando DigSilent.**

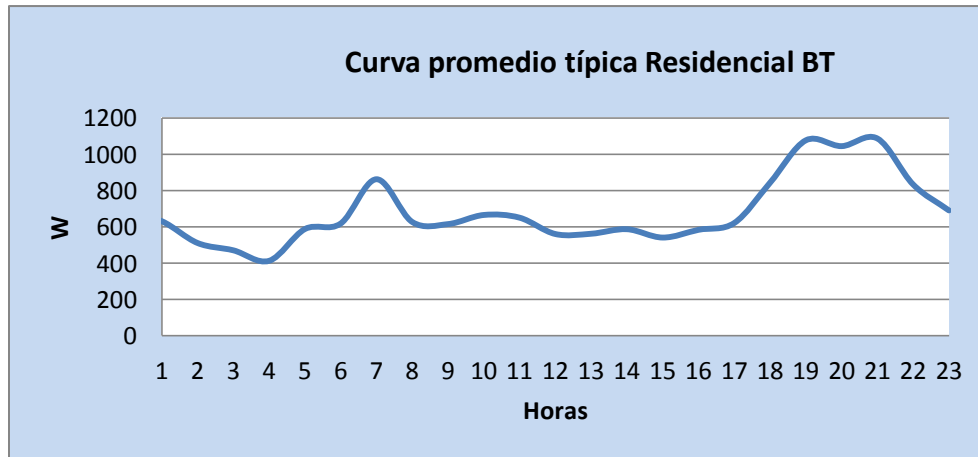
Para el análisis de voltaje existen diferentes opciones como:

- Curvas PV
- Curvas QV
- Análisis Dinámico

En el presente estudio se va a utilizar el análisis de la estabilidad de voltaje como referencia en la barra BT, este análisis nos va a permitir observar cual es perfil del voltaje cuando se produzca un aumento de la carga o cuando ingrese un generador eólico, o un grupo de paneles fotovoltaicos. La interacción de estas variables nos va a permitir visualizar los diferentes niveles de voltaje. Para trabajar en régimen dinámico se ha establecido realizar las simulaciones en el dominio del tiempo en un horizonte que permita tener un análisis de resultados. De esta manera vamos a poder visualizar diferentes escenarios de operación.

### **3.1.3 Característica de la Demanda**

De acuerdo al registro de demanda de medidores inteligentes, se dispone una curva promedio referente al consumo por parte de usuarios residenciales, como se puede apreciar en la Figura 32 así es el comportamiento de la demanda por parte de un usuario residencial.



**Figura 32 Curva demanda de potencia usuarios residenciales.**

*Figura: Curva promedio típica residencial BT – Medidores Inteligentes - Javier Chamorro – Enero 2014*

Como podemos observar las horas de la madrugada son las de menor demanda entre las 3 y 5 de la mañana, existe un aumento en la demanda a partir de las 5 am, a media mañana baja aunque no significativamente, entre las 14 y 15 horas se produce un aumento que horas más tarde disminuye, sin embargo a partir de las 18 horas se produce un gran aumento de la demanda siendo en la noche el pico de la curva.

Esta curva es útil para modelar el comportamiento de la carga en el simulador, lo que permite el análisis dinámico.

### **3.1.4 Modelamiento de Generador Eólico.**

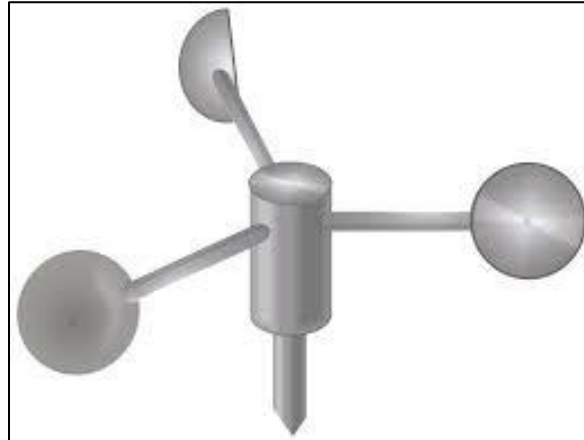
#### **3.1.4.1 Parámetros del viento**

El viento es un recurso natural que no puede ser controlado, ni pronosticado con exactitud, lo que más se utiliza son los histogramas, que muestran el comportamiento que ha tenido el viento, cada día, semana, mes, año, década, entre más datos se tenga sobre el comportamiento del viento en un lugar determinado, se puede tener un parámetro aunque no sea exacto, pero cercano al comportamiento de este recurso.

El viento definido matemáticamente es un vector que tiene aproximadamente dos dimensiones ya que su componente vertical es muy pequeña, en el plano cartesiano, se debe proyectar sobre cada eje “x” & “y” el vector correspondiente al módulo y la velocidad del mismo[43].

El instrumento encargado de la medición del viento se denomina “anemómetro” siendo

uno de los más utilizados el “anemómetro de cazoletas”

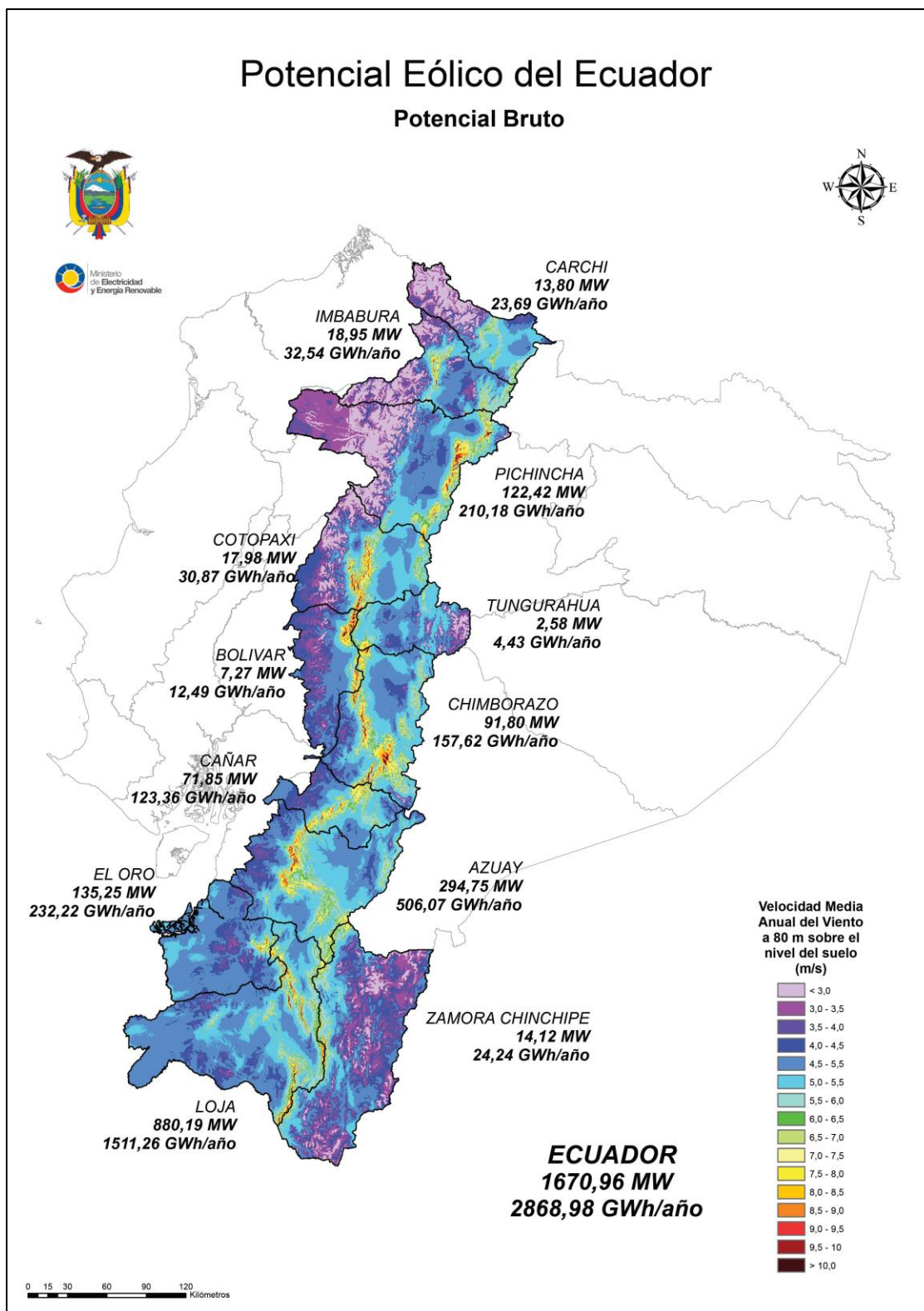


**Figura 33 Anemómetro de cazoletas.**

*Fuente: Fundación española para la ciencia y Tecnología, Meteorología y Climatología. Madrid, España: , 2004, pp. 24.*

En el año 2013 el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) presentó el “*Atlas Eólico del Ecuador*”, el cual es un referente informativo energético se elaboró mediante un mapeo satelital, con lo que se identificó las zonas en las cuales es más idóneo realizar estudios de viento para posibles proyectos eólicos.

En la Figura 34 se muestra una imagen del atlas eólico, en el que se puede diferenciar por colores las regiones del Ecuador en donde se encuentra mayor presencia de viento.



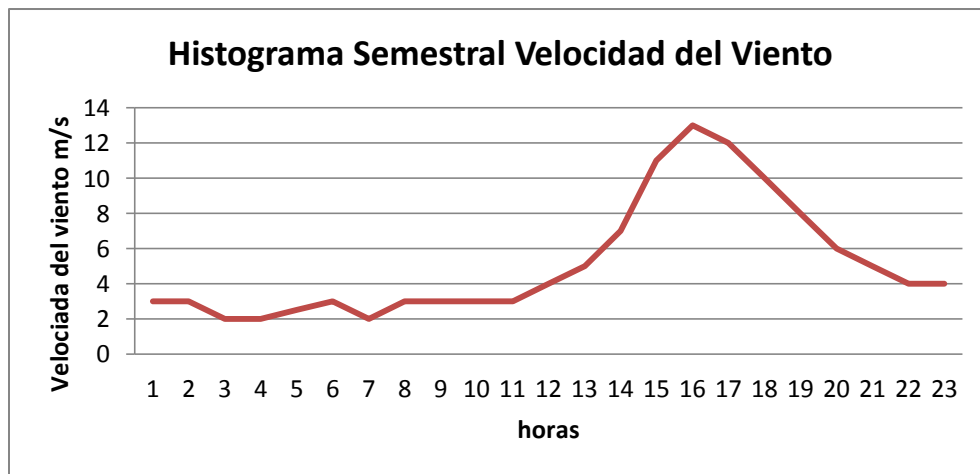
**Figura 34 Atlas eólico del Ecuador.**

*Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER., "Atlas eólico del Ecuador Con fines de generación eléctrica," Potencial Eólico Ecuador, pp. 21, 2013.*



Con la finalidad de tener un parámetro para poder determinar las horas del día en las cuales los generadores eólicos en la ciudad de Quito pueden operar, se ha tomado referencia a la Dirección de Aviación Civil, (DAC), la cual en su Departamento de Metrología Aeronáutica, es la encargada de registrar los datos de velocidad y dirección del viento, se tomaron los datos de la estación AIMS-QUITO (Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre) en Tababela, para obtener la curva de viento se ha evaluado un histograma semestral, desde el mes de Diciembre del 2013, hasta el mes de Mayo 2014.

De la recopilación de datos mediante el tratamiento estadístico descrito en la sección 2.3.3 se ha tomado la mediana de los valores, obteniendo la Curva de viento como se puede apreciar en la Figura 35.



**Figura 35 Curva promedio de velocidad de viento de acuerdo a análisis de datos históricos.**

*Fuente: Dirección de Aviación Civil – datos de viento-aeropuerto internacional mariscal sucre -quito-tababela – dic 2013 – may 2014.*

De la Figura 35 tenemos las siguientes características:

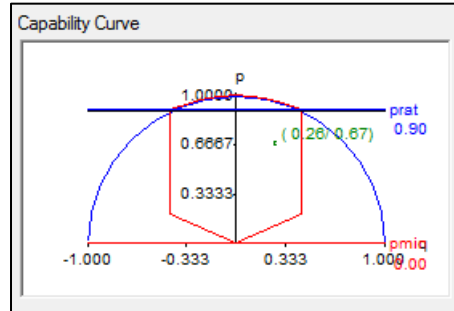
- El comportamiento del viento a partir de las 11 de mañana, tiene una tendencia a elevarse, siendo el periodo entre las 15 a 20 horas, en el cual se evidencia un perfil óptimo de viento para el trabajo de los aerogeneradores.
- Las horas de la madrugada son las que manifiestan una relativa calma, siendo entre las 3 y 4 de la mañana las horas con menor cantidad de viento.

#### **3.1.4.2 Características Aerogenerador**

Para el caso estudio se ha tomado como referencia un generador de inducción de rotor bobinado, en la configuración denominada DFIG con potencia nominal de 1,5 kW en el

software DigSilent.

Todos los parámetros como frecuencia, nivel de voltaje, y los rangos operativos en los que va a trabajar el controlador del aerogenerador son ingresados en el software.



**Figura 36 Curva de Capacidad Aerogenerador.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, características aerogenerador DFIG.*

Considerando el funcionamiento del aerogenerador utilizado, para el periodo de simulación determinado, por medio del histograma de viento, se va a analizar el instante en que el generador entre en paralelo con la RD, así mismo cuando salga de funcionamiento.

La potencia en ese instante es calculada mediante la ecuación:

$$P_{viento} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A [W] \quad \text{Ecuación 11}$$

### 3.1.5 Modelamiento de Generación Fotovoltaica.

El nivel de generación fotovoltaico se relaciona directamente con la cantidad de radiación solar que llega a un punto en un momento determinado, por lo que para conocer la producción fotovoltaica se necesita conocer la interacción sol- tierra.

La radiación solar se la obtiene de acuerdo a estudios, los cuales en Ecuador lo realiza el Inamhi, (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), con el estudio de Heliofanía Efectiva Diaria, este estudio logra determinar según la estación, el nivel de radiación que ejerce el sol en un área determinada, así como también parámetros como horas – luz diarias, ya que por la presencia propiamente de las nubes no siempre la radiación es constante, con la finalidad de tener un histograma de la ciudad de Quito. En la Figura 37 se observa la estación de mediciones Iñaquito utilizada por el Inamhi.



**Figura 37 Estaciones Meteorológicas Inamhi Iñaquito.**

*Fuente: Laboratorio Meteorología Inamhi – Iñaquito.*

El instrumento utilizado para la medición de horas luz diarias es el Heliofanógrafo que es un instrumento que consta de una esfera de cristal y en la parte inferior tiene un espacio destinado para una cartilla esta tiene una escala en la que mientras el sol avanza durante el día, la cartilla se quema producto del haz de luz que impacta directamente, cuando una nube o un día nublado no permiten que el sol se refleje directamente en el heliofanógrafo, la cartilla no se quema, es mediante este sistema que se puede determinar cuántas horas – luz ha tenido el día.

En la Figura 38 se muestra el heliofanógrafo mientras está en funcionamiento.



**Figura 38 Heliofanógrafo Inamhi Estación Iñaquito.**

*Fuente: Laboratorio Meteorología Inamhi – Iñaquito.*

El uso de Paneles fotovoltaicos, se ha tomado referencia acerca de un estudio realizado por personal del Inamhi.

En el que se muestra cual es el nivel de radiación solar en la ciudad de Quito, como referencia la estación Iñaquito. De las mediciones realizadas diariamente, se realiza un histograma de los niveles de radiación solar, el cual nos indica cuanto nivel de radiación en Vatios existente por metro – cuadrado (m²). La ecuación de Angstron se utiliza para transformar energía del brillo solar a energía eléctrica.

$$Q = Q_a \left[ a + b \left( \frac{n}{N} \right) \right] \quad \text{Ecuación 12}$$

Dónde:

Q= Radiación solar global en superficie en  $\frac{wh}{m^2}$

Qa= Radiación solar en el límite superior de la atmósfera = 1367 whm2

a= Coeficiente (0.28)

b= Coeficiente (0.42)

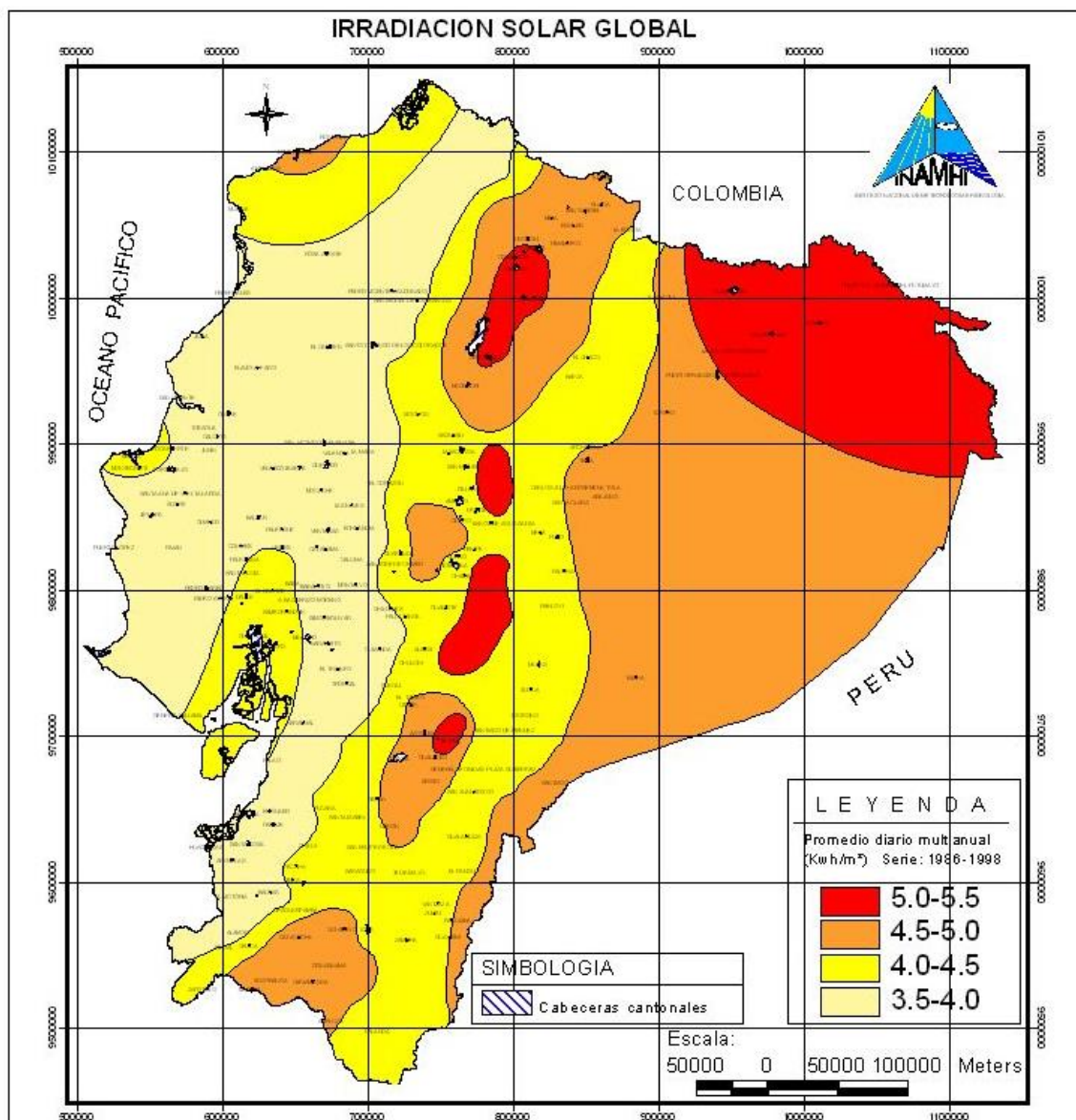
n= Número de horas sol (mensual o diario)

N= Longitud del día (igual a 12 si es diario o si es mensual se debe multiplicar por el número de días del mes).

Estos son los parámetros de la expresión de irradiación, aunque una condición importante utilizada en otros países para aprovechar de mejor manera el recurso en paneles fotovoltaicos, es la inclinación del panel de acuerdo a la posición del sol.

Se procede a utilizar como referencia de radiación solar los datos proporcionados por el Inamhi.

De forma ilustrativa la Figura 39 muestra el potencial de irradiación del sol en el Ecuador.



**Figura 39 Atlas Solar Ecuador.**  
*Fuente: Inamhi, Atlas solar del Ecuador, p. 12, año 2012.*

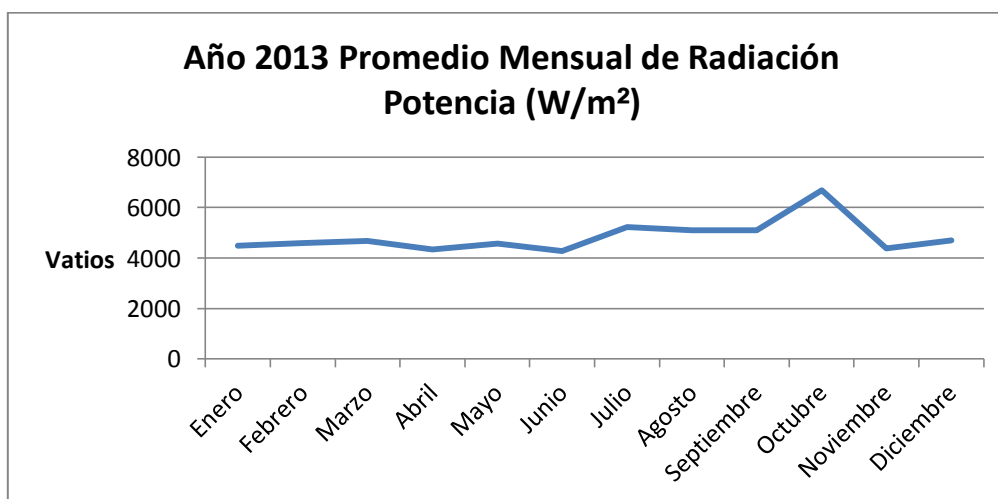
Con la finalidad de tener un dato real para la radiación que ejerce el sol sobre la ciudad de Quito, se ha tomado referencia del siguiente estudio, realizado en el Inamhi en el año 2012, en la estación Iñaquito, de la cual se he tomado los datos durante todo el año y el promedio obtenido es el dato que vamos a utilizar.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA	
Estación Heliofanía Efectiva Promedio Mensual	
PERIODO: 2013 - 2013	
LATITUD: 0G 10' 0" S	
LONGITUD: 78G 29' 0" W	
ELEVACION: 2789.00	
Mes	Potencia (W/m <sup>2</sup> )
Enero	4477
Febrero	4596
Marzo	4670
Abril	4347
Mayo	4577
Junio	4280
Julio	5222
Agosto	5094
Septiembre	5110
Octubre	6683
Noviembre	4388
Diciembre	4690
Promedio	4845

**Tabla 6 Histograma niveles de radiación solar.**

*Fuente: Inamhi – Estación de heliofanía efectiva promedio mensual – estación Iñaquito - periodo 2013.*

En la siguiente gráfica se aprecia la radiación promedio mensual en Vatios, como se puede observar los meses en los que existe una mayor radiación es entre los meses de Julio y Noviembre.



**Figura 40 Promedio mensual de radiación (W/ m²).**

*Fuente: Fuente: Inamhi, Estación de heliofanía efectiva, histograma semestral, estación Iñaquito - periodo 2013.*

De acuerdo a los datos proporcionados por el Inamhi, durante un día promedio el nivel de radiación solar depende de la nubosidad presente en el día, lo que hace que en



verano se puedan tener días más despejados, y así poder aprovechar de mejor manera el nivel de radiación que incide sobre los paneles solares.

Para las simulaciones de este trabajo se utiliza sistemas de paneles solares instalados. A continuación muestro las características del sistema fotovoltaico utilizado en el proyecto Euro Solar [16].

Descripción	Valor
<b>Sistema Fotovoltaico: 1100 vatios</b>	1100 Vatios
<b>Regulador: 50 A, 24 voltios</b>	50 A /24 Voltios
<b>Inversores: 350 y 1300 vatios, 120 voltios</b>	350 y 1300 vatios - 120 voltios
<b>Banco de Baterías:</b>	1000 Ah, 24 voltios

**Tabla 7: Características técnicas proyecto Euro – Solar.**

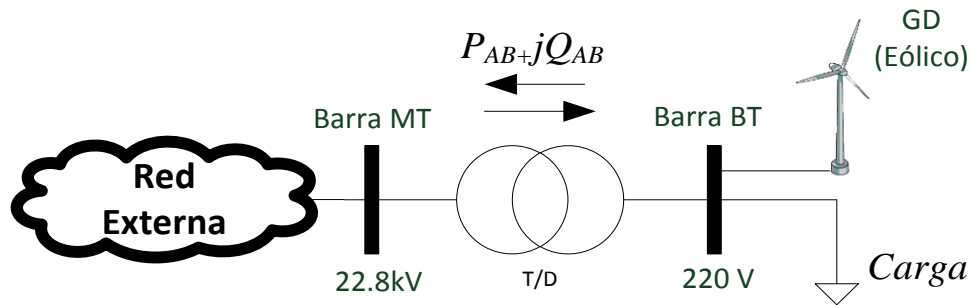
*Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER, “Programa EURO-SOLAR,” Energía renovable para el desarrollo., pp. 4, 2009.*

### **3.2 Caso Esquemático de Estudio.**

#### **3.2.1 Escenario 1**

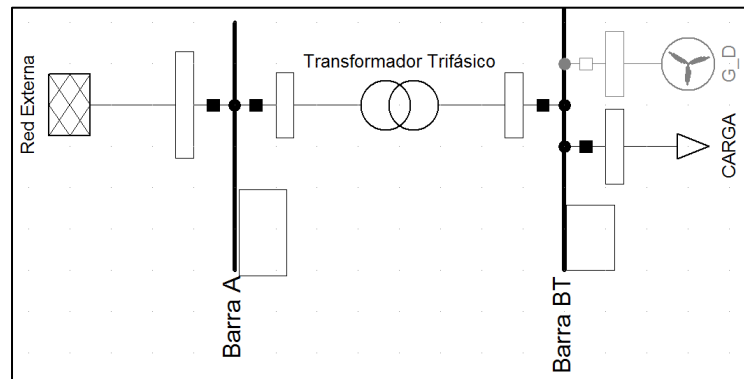
Para el análisis se considera un alimentador primario de Media Tensión (22,8 kV), un transformador trifásico de 30 KVA (22,8 kV– 220V), en la barra de bajo voltaje se encuentra conectada la carga correspondiente a 25 kW y adicional a esto se tiene la GD el cual es un aerogenerador con capacidad de 15 kW.

En este caso se utiliza un nivel de penetración medio del total de la carga, existe un 60% de GD instalada en función de la barra.



**Figura 41 Diagrama ilustrativo sistema en análisis.**

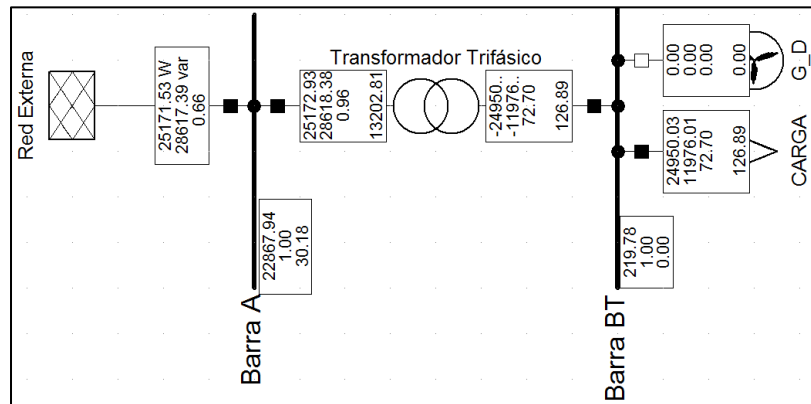
*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*



**Figura 42 Diagrama Unifilar caso esquemático de estudio**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, diagrama caso a ser simulado, Autor.*

Como podemos ver esta configuración nos muestra básicamente como un generador eólico se encuentra conectado en paralelo a la carga en la RD. Los valores de voltaje resultante corresponden a la Barra “BT”. En la Figura 43 se muestra el sistema eléctrico ingresado al DigSilent. En la siguiente figura se muestra el flujo de potencia en un punto de operación.



**Figura 43 Sistema operando en DigSilent caso esquemático de estudio.**

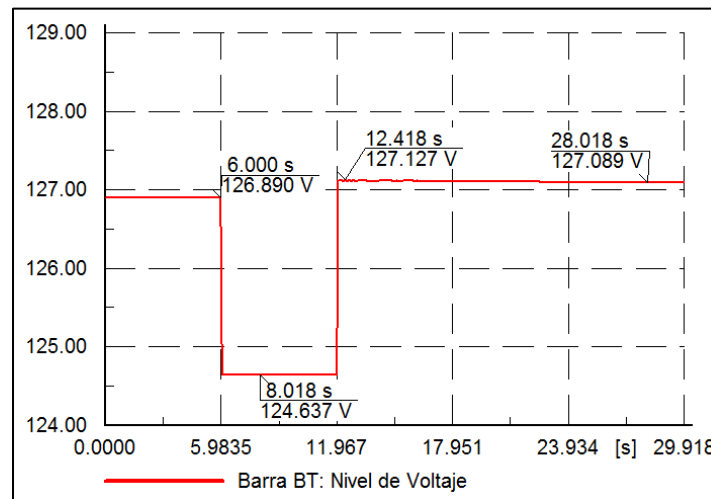
*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, sistema simulado, Autor.*



Con la finalidad de verificar la estabilidad de tensión se realizó una simulación en el dominio del tiempo con las siguientes consideraciones impuestas:

1. Inicialmente la Carga y la GD se encuentran en funcionamiento al inicio de la simulación
2. La GD se desconecta a los 6 segundos.
3. El GD vuelve a conectarse a los 12 segundos.

El resultado de este escenario de operación se ve reflejado en la siguiente gráfica voltaje vs tiempo. El tiempo para la simulación es 30 segundos.



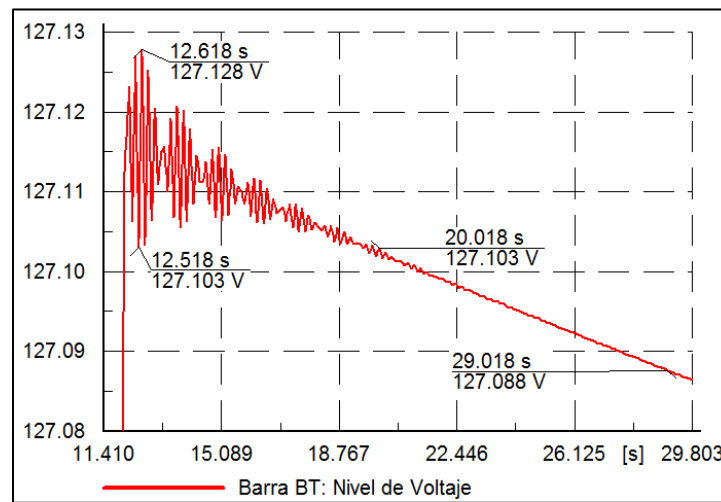
**Figura 44 Voltaje Fase – Fase y Fase - Neutro en la RD caso esquemático de estudio.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

En la Figura 44 en línea color rojo se puede identificar el voltaje fase - neutro en la Barra BT.

- Inicialmente cuando la carga y la GD se encuentran operando, el voltaje tiene un valor de 126.89 voltios hasta los 6 segundos.
- En este instante, la GD se desconecta, y podemos observar una disminución o del el nivel de voltaje hasta 124,63 voltios.
- A los 12 segundos cuando la GD se conecta, el voltaje sube hasta 127.12 voltios.
- Finalmente el voltaje disminuye a 127,08 voltios cuando la regulación de voltaje de la GD realiza su operación.

Realizando un acercamiento mayor, en el lapso entre los 12 y 30 segundos se puede apreciar cómo actúa la regulación de voltaje.

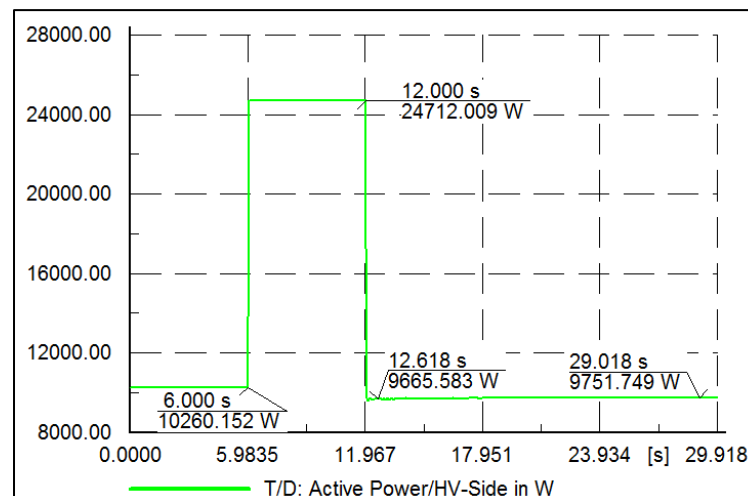


**Figura 45 Acercamiento Regulación nivel de voltaje Figura 44.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

Esta secuencia de eventos nos permite visualizar como varía el nivel de voltaje en la Barra BT. A mayor carga el voltaje disminuye su valor y cuando el generador distribuido se conecta el voltaje de la barra aumenta.

En la Figura 46 se evalúa los niveles de potencia que atraviesan el transformador de la RD.



**Figura 46 Niveles de potencia de la RD caso esquemático de estudio.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

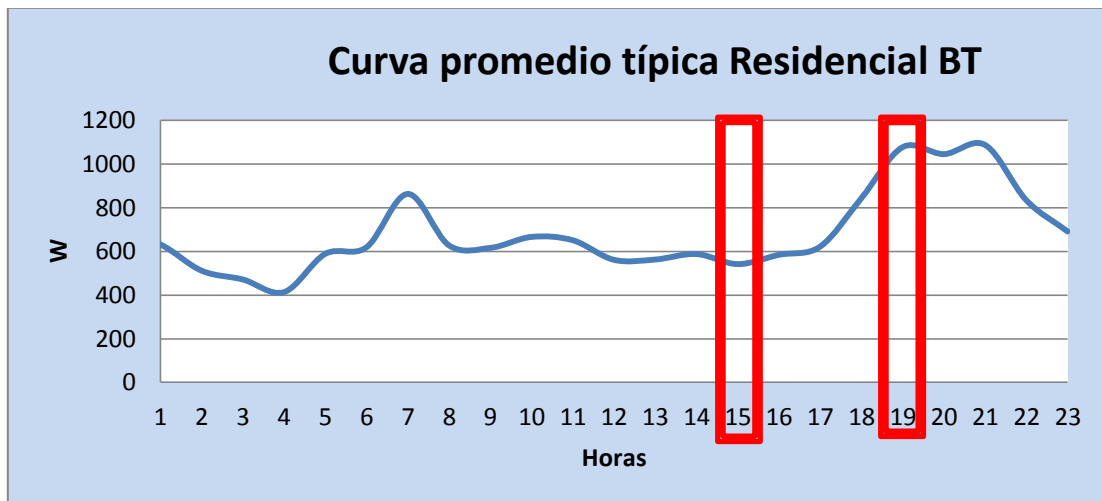
De esta figura podemos acotar lo siguiente:

- Inicialmente el valor de la potencia es de 14,19 kW cuando la GD se desconecta, el nivel de potencia es de 25 kW.
- Se observa que a partir de los 13 segundos el nivel de potencia logra recuperarse hasta tener un valor de 14,85 kW cuando la GD vuelve a conectarse en la RD.

### 3.2.2 Escenario 2

En este escenario se realiza la simulación de una RD, en la cual se tienen varios nodos con conexión a las cargas, así como también generadores eólicos distribuidos a lo largo de todo el circuito secundario.

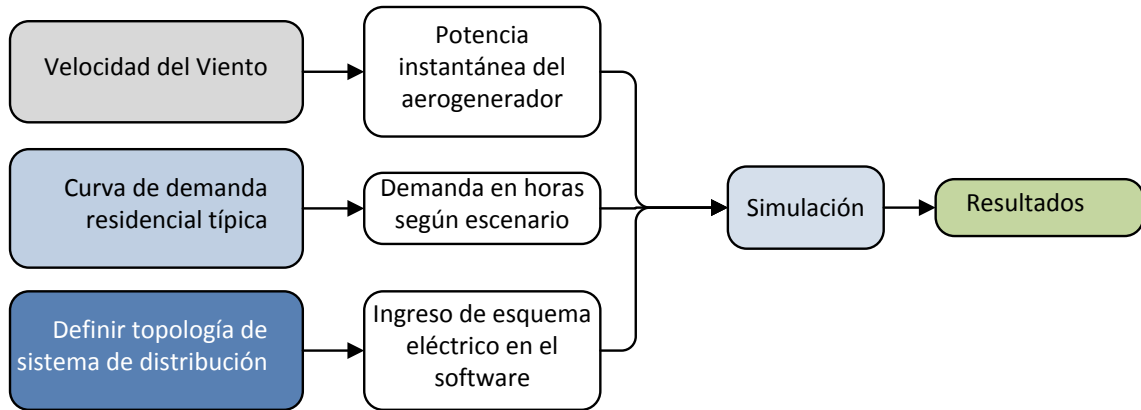
Con este escenario se evalúa la integración de los aerogeneradores a la RD, tomando en cuenta dos puntos de la curva de demanda de usuarios residenciales en la Figura 49: alta demanda y baja demanda.



**Figura 47 Curva demanda de potencia usuarios residenciales.**

*Fuente: Curva promedio típica residencial BT, Medidores Inteligente, Javier Chamorro, Enero 2014.*

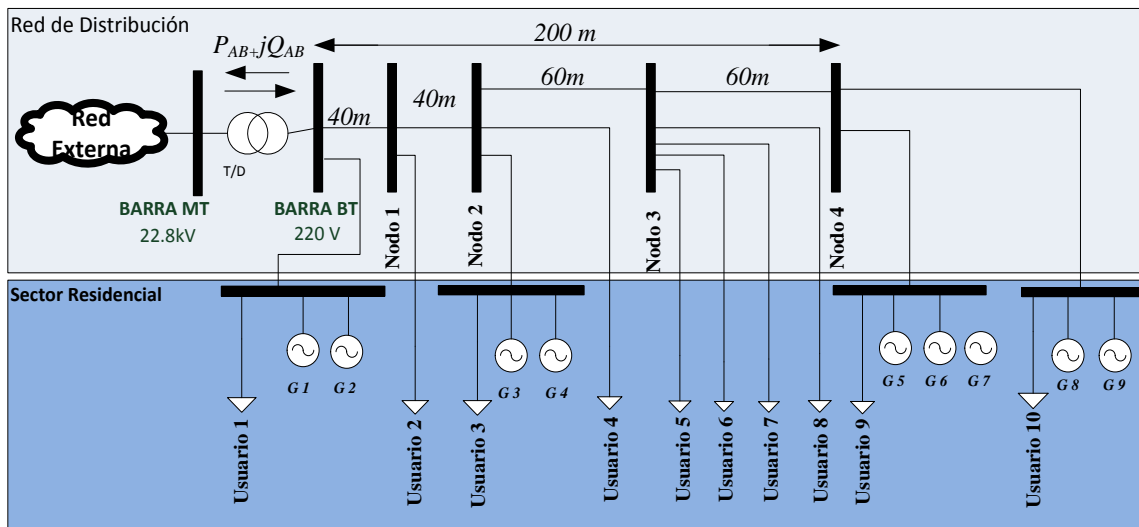
La metodología utilizada para evaluar este escenario se especifica en Figura 48, donde se identifica los parámetros que son ingresados en el software para obtener los resultados.



**Figura 48 Metodología utilizada para análisis en escenario 2.**

*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

En la Figura 49 se muestra el sistema eléctrico de la red de distribución a modelar. En esta red indistintamente se ha instalado generadores eólicos en el circuito de baja tensión.



**Figura 49 Esquema Escenario 2.**

*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

### 3.2.2.1 Simulación con Baja Demanda

En este caso se toma como referencia las 15:00 horas que es uno de los puntos del día con baja demanda en función de la curva de demanda de usuarios residenciales durante el día, la demanda en este punto es 541 Vatios por cada usuario.

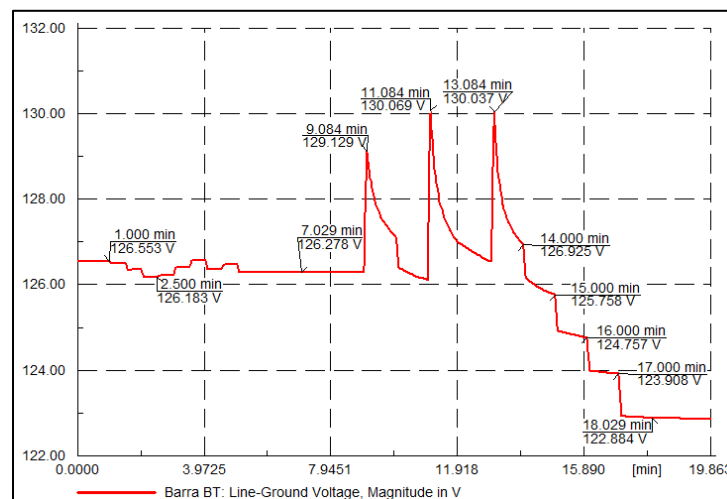
A esta hora de acuerdo al histograma de viento, la velocidad es de 11 m/s, lo que quiere

decir que los aerogeneradores a esta hora se encuentran operando con una potencia instantánea de 1.155 vatios por cada aerogenerador.

Para esta simulación se plantea las siguientes consideraciones de operación con el fin de evaluar el caso de estudio:

- El tiempo para realizar la simulación es de 20 minutos.
- Al iniciar la simulación las unidades de GD se encuentran conectadas a la RD
- Los aerogeneradores a partir de 1 minuto son desconectados de la RD uno a uno con un intervalo de 30 segundos desde el G1 hasta el G9.
- A partir de los 9 minutos los aerogeneradores se conectan en paralelo a la RD unidad por unidad, con un intervalo de 1 minuto, para poder visualizar cual es el comportamiento del nivel de voltaje en la Barra BT.

Se realiza la simulación del sistema y se muestra los resultados en la Figura 50 en la que se visualiza los resultados de los niveles de tensión en la Barra BT que se observa en la Figura 49.



**Figura 50 Voltaje en la Barra de BT escenario 2 baja demanda.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

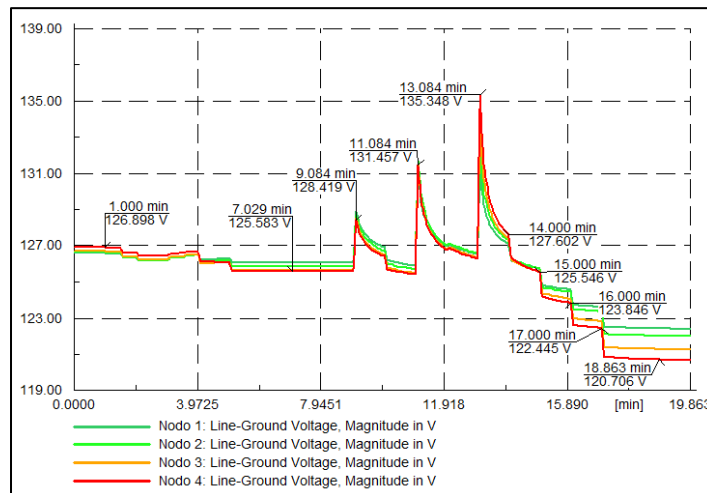
A continuación se muestran los resultados de la simulación.

- Se observa que el nivel de voltaje en la Barra BT, es de 126.55 voltios, al inicio de la simulación cuando la GD se encuentra en paralelo con la RD
- El voltaje cambia su nivel conforme se realiza las desconexiones de cada

unidad, su valor más bajo es de 126,18 V, sin que se produzca una variación de voltaje muy alta en relación con el nivel.

- Cuando todos los aerogeneradores se han desconectado del sistema, el nivel de voltaje es de 126,28V.
- Se observa que el nivel de voltaje aumenta a 129,13 V cuando se conecta el primer aerogenerador, este valor de voltaje disminuye rápidamente debido al control propio del aerogenerador.
- El nivel de voltaje, a los 11 minutos es de 130,07 V, este valor es el más alto del escenario.
- Debido a que en un mismo nodo no se puede tener dos aerogeneradores en modo “control de voltaje”, se observa que el sistema presenta tres picos de voltaje durante el arranque de los aerogeneradores.

En la Figura 51 se visualiza el nivel de voltaje en cada uno de los nodos de la RD.



**Figura 51 Niveles de Voltaje en los nodos de la RD escenario 2 baja demanda.**

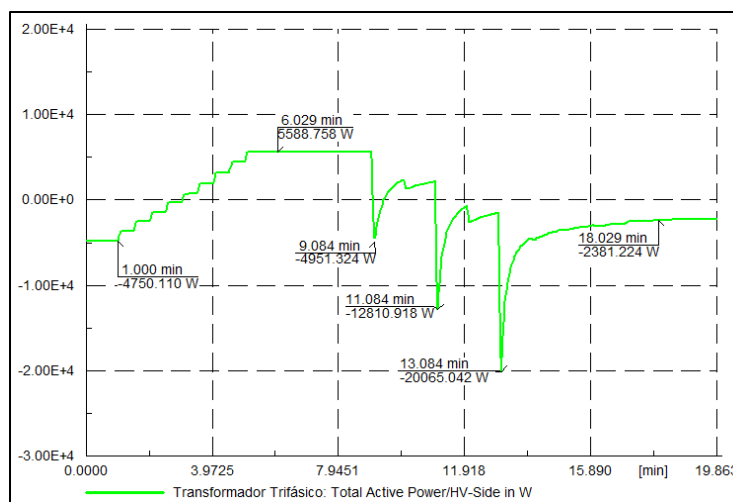
*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

Estos niveles de voltaje muestran las siguientes acotaciones:

- Al iniciar la simulación el nivel de voltaje del Nodo 4 es 126.89 Voltios, mayor al nivel de voltaje en el Nodo 1.
- Mientras se realiza la desconexión de la GD, el nivel de voltaje varía aunque no en un valor muy significativo.

- Cuando todas las unidades de GD se encuentran desconectadas de la RD, el nivel de voltaje del Nodo 1 es mayor al nivel de voltaje del Nodo 4, a los 7 minutos es de 125.58 voltios
- El nivel de voltaje aumenta a medida que las unidades ingresan en paralelo con el sistema, a los 9 minutos cuando ingresa el aerogenerador 1 (G 1), el nivel de voltaje se incrementa a 128,42 voltios.
- El mayor nivel de voltaje es de 135,35 voltios, se produce a los 13 minutos cuando ingresa en paralelo a la RD el aerogenerador G 5.
- Cuando han ingresado en paralelo todos los aerogeneradores el nivel de voltaje ha descendido hasta un valor de 120,70 voltios por la regulación de voltaje por parte de la GD.
- Es el Nodo 4 el que percibe mayor cambio en el nivel de voltaje durante el encendido de los aerogeneradores del sistema.

La Figura 52 muestra el comportamiento del nivel de la potencia que fluye a través del transformador de la RD.



**Figura 52 Potencia suministrada por el transformador trifásico escenario 2 baja demanda.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

Es importante acotar las siguientes observaciones:

- Al inicio de la simulación la potencia es de -4,75 kW.
- Conforme se desconectan los aerogeneradores a la RD, el valor va disminuyendo, hasta rebasar el nivel cero.

- Cuando se ha desconectado toda la GD del sistema, el nivel de potencia llega a ser de 5,58 kW
- Mientras las unidades de GD se conectan nuevamente al sistema los valores de potencia varían con ciertos valores picos que se generan cuando las unidades de GD entran en paralelo con la RD.

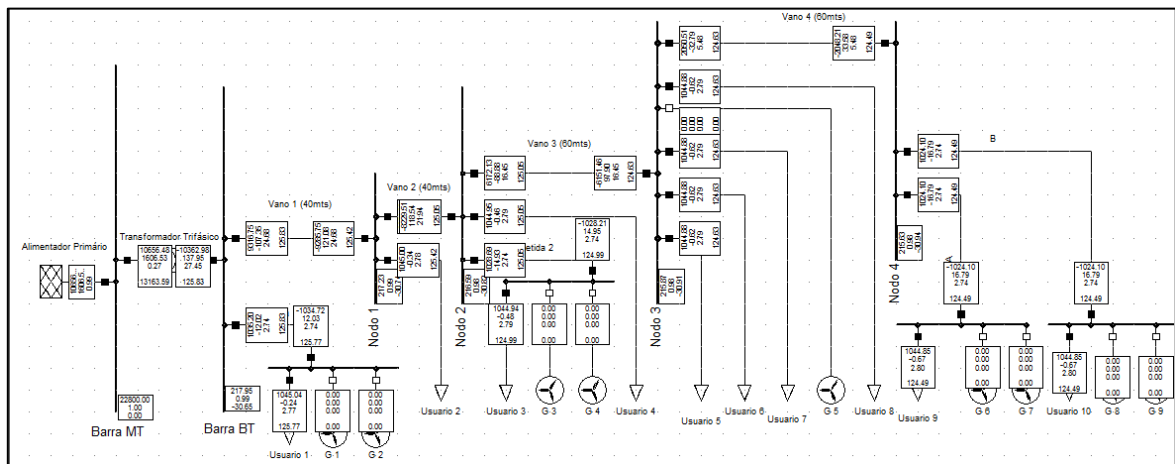
### 3.2.2.2 Simulación con Alta Demanda

Para la simulación con alta demanda se toma la demanda a las 19:00 horas Figura 47. El valor de la demanda registrada en esta hora es de 1077 Vatios.

En la curva de viento promedio analizada en la Figura 35 se toma el valor de la velocidad del viento a las 19 horas, el cual es de 8m/s en el punto de análisis considerado en alta demanda. Aplicando la  $P_{viento} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A [W]$

Ecuación 7 de la sección 2.2.2 se tiene que la potencia instantánea de los aerogeneradores es 444.16 W por cada uno. Teniendo en cuenta estas consideraciones se ingresan todos los parámetros en el software y se procede a simular.

La Figura 53 muestra el flujo de potencia en un punto de operación en el software DigSilent.



**Figura 53 Escenario 2 Sistema alta demanda.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, red de distribución, Autor*

Se ha tomado como horizonte de simulación el tiempo de 20 minutos para evaluar el comportamiento del sistema. Se plantea los siguientes eventos en la simulación:

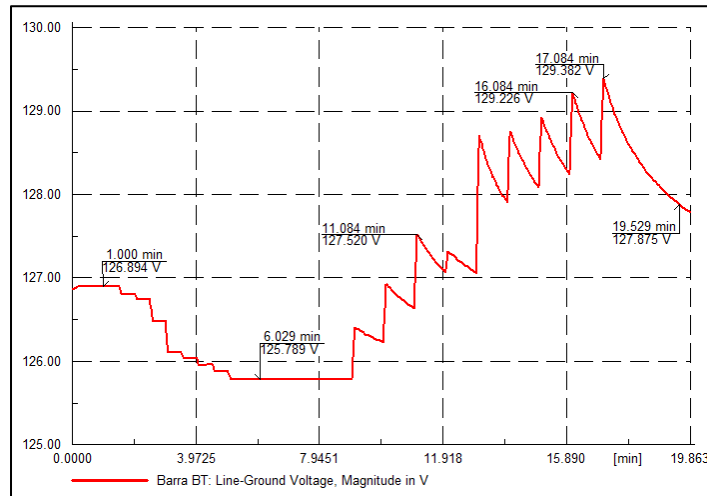
- Los aerogeneradores se desconectan a la RD a partir de 1 minuto con una



diferencia de 30 segundos entre unidad.

- Los aerogeneradores ingresan en paralelo a la RD, uno a uno desde el G1 hasta el G9 con una diferencia de 1 minuto a partir de los 9 minutos cada uno, para lograr apreciar el efecto que produce en el nivel de voltaje.

Como podemos observar en la Figura 54 se muestra el comportamiento el nivel de voltaje en la Barra BT.



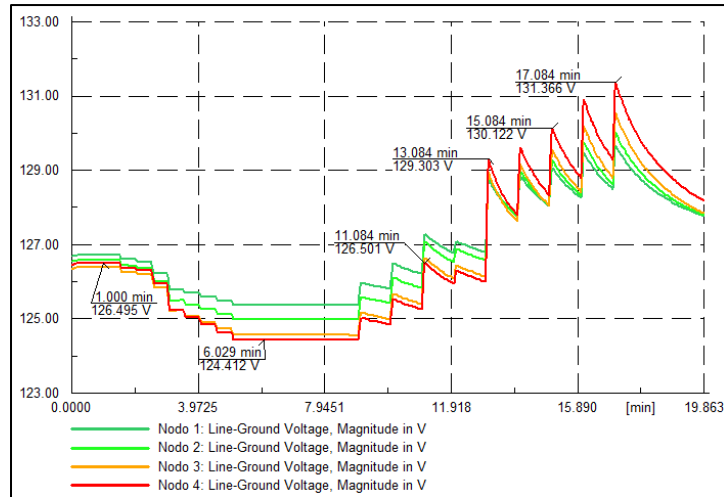
**Figura 54 Nivel de Voltaje Barra BT escenario 2 alta demanda.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

Inicialmente se observa que el nivel de voltaje es de 126.89 voltios cuando se encuentra conectada la demanda y la GD en el sistema.

- Los niveles de voltaje van disminuyendo gradualmente a medida q los generadores van desconectándose del sistema hasta llegar a un valor de 125,79 voltios cuando todos los las unidades de GD se han retirado.
- Posteriormente, los aerogeneradores se conectan uno a uno, el voltaje en la Barra BT comienza a aumentar hasta llegar a un valor de 129,38 voltios.
- El nivel de voltaje disminuye por la regulación de voltaje de la GD.

Al ser un sistema de topología radial, se ha tomado los valores de voltaje en los nodos del sistema como se pude identificar en la Figura 55



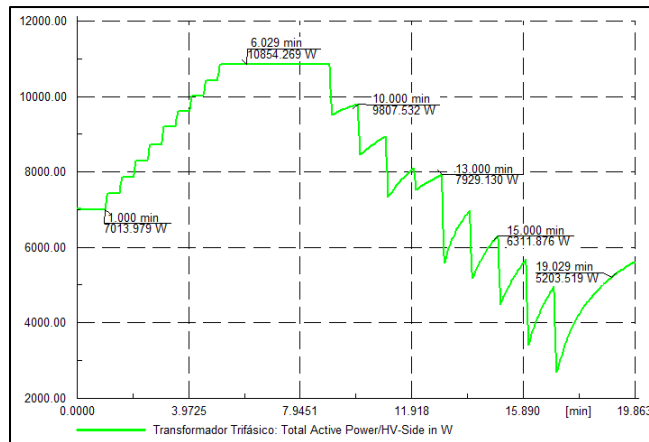
**Figura 55 Niveles de Voltaje en nodos de la RD escenario 2 alta demanda.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

En la Figura 55 se observa el nivel de voltaje inicial de cada nodo. Se evalúa el comportamiento del nivel de voltaje en el nodo 4

- El valor en el nivel de voltaje cuando inicia la simulación es de 126,49 voltios.
- Cuando todos los aerogeneradores se han desconectado el nivel de voltaje es de 124,41 voltios.
- A medida que ingresan las unidades de GD al sistema el nivel de voltaje en este nodo presenta cambios considerables, el mayor nivel registrado es de 131.36 Voltios.
- Estos valores picos van disminuyendo a medida que la regulación de las unidades de GD propiamente actúan.

En la Figura 56 se puede observar el comportamiento de la potencia suministrada por el transformador.



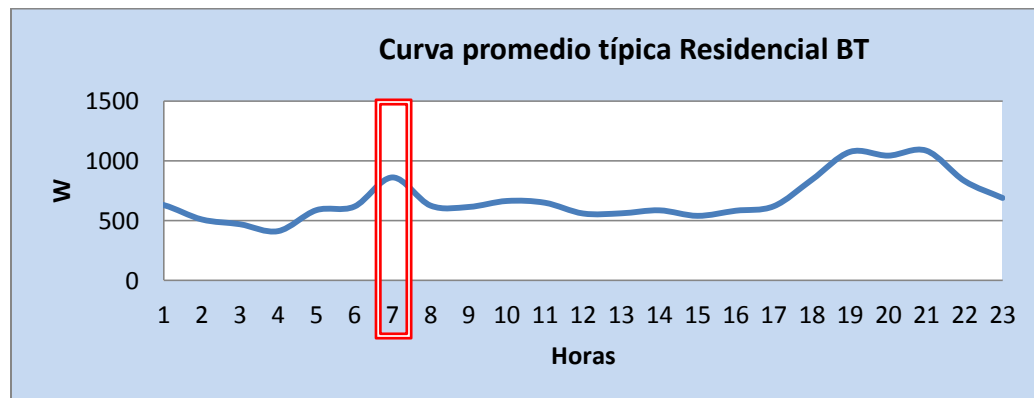
**Figura 56 Potencia suministrada por el transformador trifásico escenario 2 alta demanda.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

El flujo de potencia por el transformador de distribución cambia a medida los generadores ingresan o salen del sistema. Se observa como al ingresar cada aerogenerador, el flujo de potencia por el transformador disminuye. Se puede observar el cambio instantáneo de la potencia a medida que los aerogeneradores ingresan al sistema.

### 3.2.3 Escenario 3 Sistema con Paneles Fotovoltaicos.

En este escenario se realiza la simulación de una RD, en la cual se tienen varios nodos con conexión a las cargas, así como también sistemas con paneles fotovoltaicos distribuidos a lo largo de todo el circuito secundario. Con este escenario se evalúa la integración de los paneles fotovoltaicos a la RD. Para el presente escenario se ha tomado a las 7 horas de la curva de demanda diaria, la cual se puede apreciar en la Figura 57.

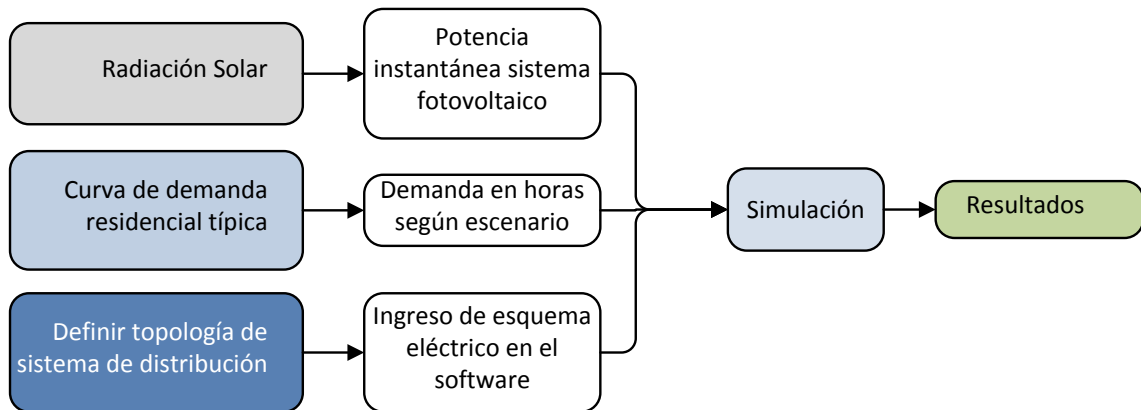


**Figura 57 Hora pico utilizada para escenario 3.**

*Fuente: Curva promedio típica residencial BT, Medidores Inteligente, Javier Chamorro, Enero 2014*

Este escenario evalúa el comportamiento del nivel de voltaje en la Barra BT, de la RD, la

Figura 58 muestra la metodología utilizada para realizar este escenario.

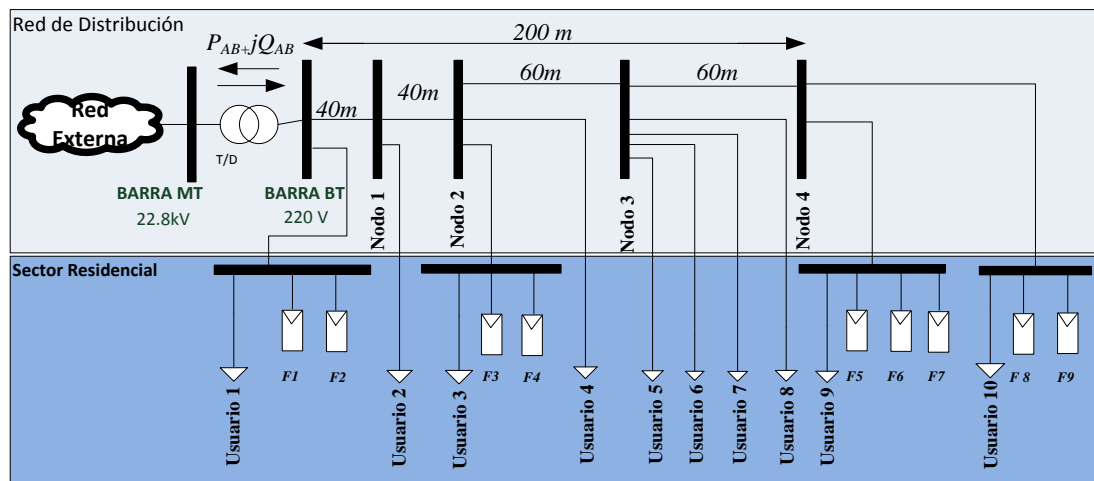


**Figura 58 Metodología análisis para escenario 3.**

*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

En la

Figura 59 se muestra como se encuentra configurada la RD, en la que existen sistemas fotovoltaicos distribuidos en toda la RD.



**Figura 59 Esquema básico escenario 3.**

*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

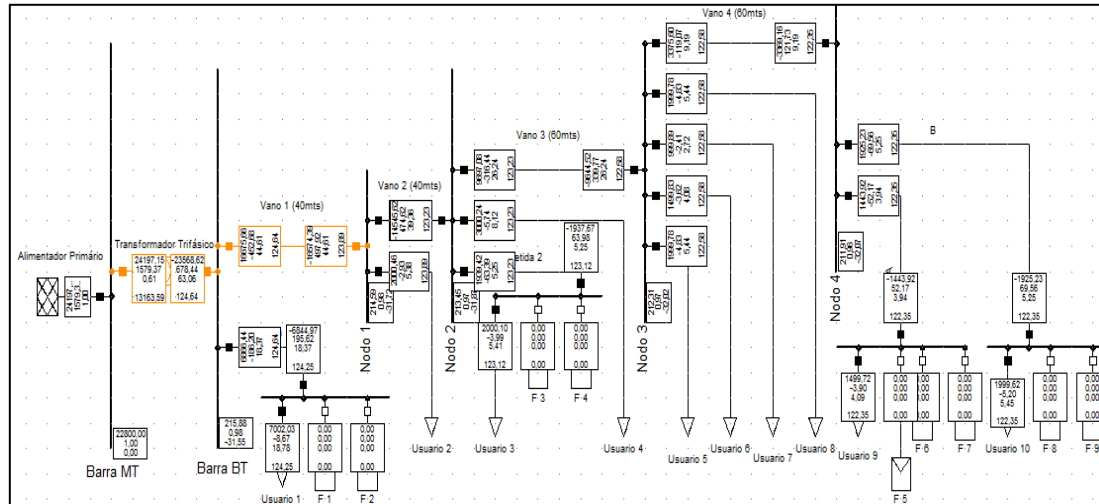
Al evaluar el sistema a las 7 horas, el valor instantáneo de la demanda es 862,84 Vatios por cada usuario del sistema.

A esta hora los sistemas fotovoltaicos pueden operar a potencia nominal, sin embargo considerando nubosidad en el ambiente, se considera que los sistemas de paneles fotovoltaicos trabajen con potencia de 880 vatios por cada sistema fotovoltaico.

Para esta simulación se plantea las siguientes consideraciones de operación con el fin de evaluar el caso de estudio:

- El tiempo para realizar la simulación es de 20 minutos
- Los sistemas fotovoltaicos a partir de 1 minuto ingresan en paralelo a la RD en bloques de dos sistemas fotovoltaicos con un intervalo de 2 minutos desde el G1 hasta el G9.
- A partir de los 11 minutos los sistemas fotovoltaicos se desconectan del sistema, individualmente para visualizar cual es el comportamiento del nivel de voltaje en la Barra BT.

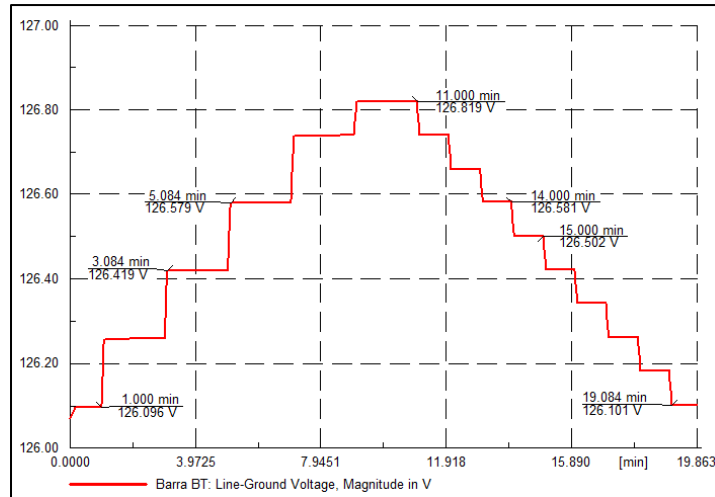
La Figura 60 muestra el sistema ingresado en el software para realizar la evaluación del sistema.



**Figura 60 Esquema de simulación con paneles fotovoltaicos.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, red de distribución, Autor*

Una vez realizada la simulación podemos en la Figura 63 como varía el nivel de voltaje en la Barra de BT correspondiente a la Figura 60.



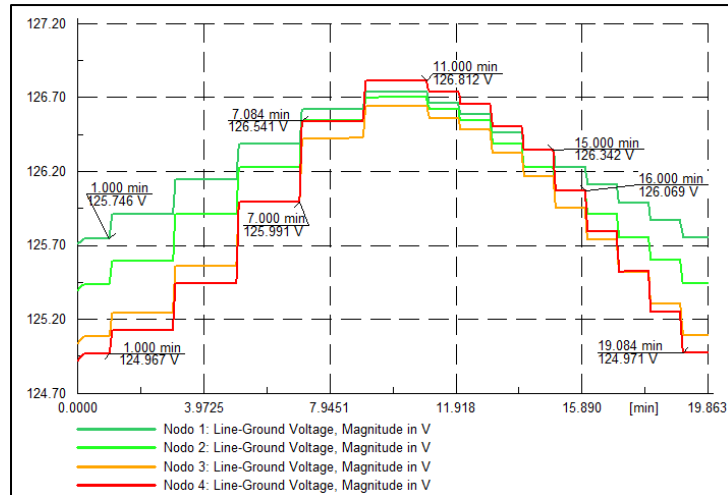
**Figura 61 Nivel de Voltaje en la Barra de BT escenario 3.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

A continuación se muestran los resultados de la simulación.

- Se observa que el nivel de voltaje en la Barra BT, es de 126.09 voltios, cuando se encuentra conectada solo la demanda en la RD.
- El voltaje aumenta a medida que los sistemas fotovoltaicos ingresan en paralelo con la RD.
- Cuando todos los sistemas fotovoltaicos han ingresado en paralelo al sistema el nivel de voltaje es 126.81 voltios.
- Se observa que el nivel de voltaje aumenta en mayor proporción al conectar simultáneamente varios sistemas fotovoltaicos.

Al ser un sistema de topología radial, se ha tomado los valores de voltaje en los nodos del sistema como se pudo identificar en la Figura 62.



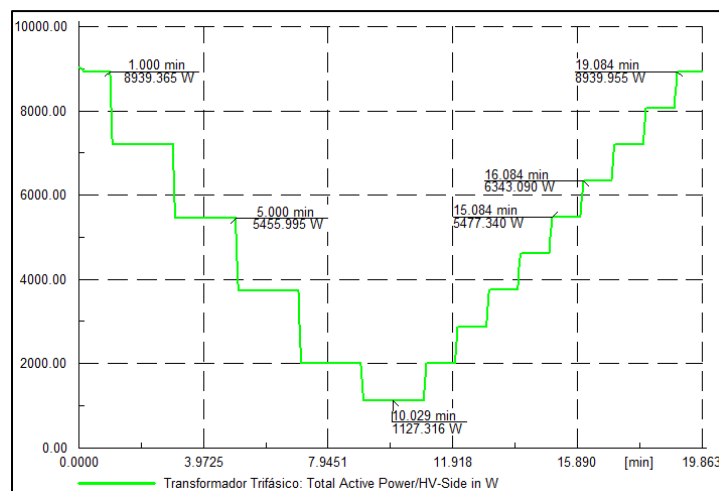
**Figura 62 Nivel de tensión en nodos del sistema escenario 3.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

Estos niveles de voltaje muestran las siguientes acotaciones:

- Al iniciar la simulación el nivel de voltaje del Nodo 4 es inferior al nivel de voltaje en el Nodo 1.
- Cuando toda la GD se encuentra operando en paralelo con la RD, el nivel de voltaje del Nodo 4 es mayor al nivel de voltaje del Nodo 1.
- Es el Nodo 4 el que percibe mayor cambio en el nivel de voltaje cuando la GD, se conecta de la RD.

La Figura 63 muestra el comportamiento del nivel de la potencia que fluye a través del transformador de la RD.



**Figura 63 Potencia Suministrada por el transformador escenario 3.**

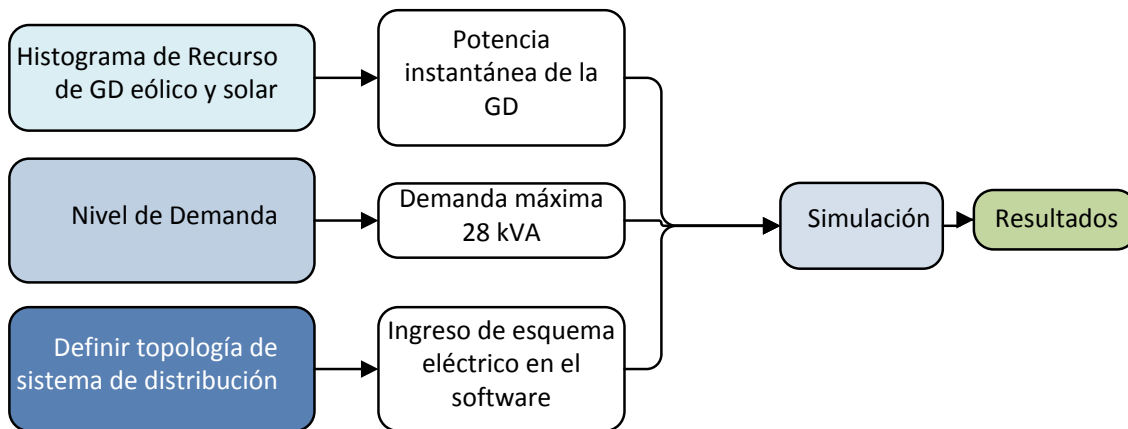
*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

Es importante acotar las siguientes observaciones:

- Al inicio de la simulación la potencia es de 8,93 kW.
- Conforme ingresan los aerogeneradores a la RD, el valor va disminuyendo, hasta rebasar el nivel cero.
- El valor llega a ser 1,12 kW, en el instante en que todos los sistema fotovoltaicos se encuentran en paralelo con la RD.
- Mientras las unidades de GD se desacoplan de la RD, el nivel de potencia aumenta hasta llegar a ser igual al valor inicial.

### 3.3 Caso 2: Análisis del problema en un Alimentador Primario

Este escenario evalúa el comportamiento del nivel de voltaje en un alimentador primario, conformado por varios transformadores de distribución, los cuales en su RD poseen carga y GD, los parámetros a utilizarse para realizar las simulaciones se representan en la Figura 64.



**Figura 64 Metodología análisis para el Caso 2.**

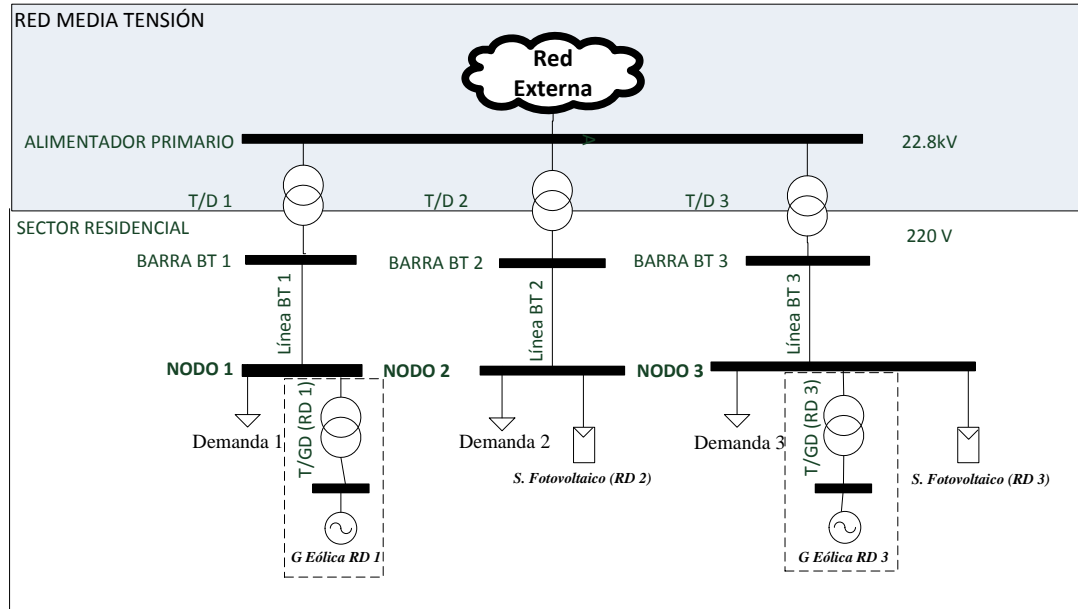
*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

Este escenario se conforma de un alimentador primario de 22,8 kW en el cual se encuentran conectados tres transformadores de 30 KVA.

La GD en cada nodo, representa el bloque de unidades utilizadas para la simulación en el escenario 2 respectivamente, en la Figura 65 se puede ver como se encuentra configurado el sistema, particularmente el nodo 3 tiene tanto generación eólica, como fotovoltaica, para evaluar el comportamiento de voltaje en un nodo que posee ambas



tecnologías.



**Figura 65 Esquema básico caso 2.**

*Fuente: Microsoft Visio, Autor.*

En este caso se toma como referencia las 15:00 horas, a esta hora de acuerdo al histograma de viento, la velocidad es de 11 m/s, lo que quiere decir que los aerogeneradores a esta hora se encuentran operando con una potencia instantánea de 1.155 vatios por cada aerogenerador.

A esta hora los sistemas fotovoltaicos pueden operar a potencia nominal, sin embargo se considera que los sistemas de paneles fotovoltaicos trabajen al 80% de su capacidad, es decir con potencia de 880 vatios por cada sistema fotovoltaico.

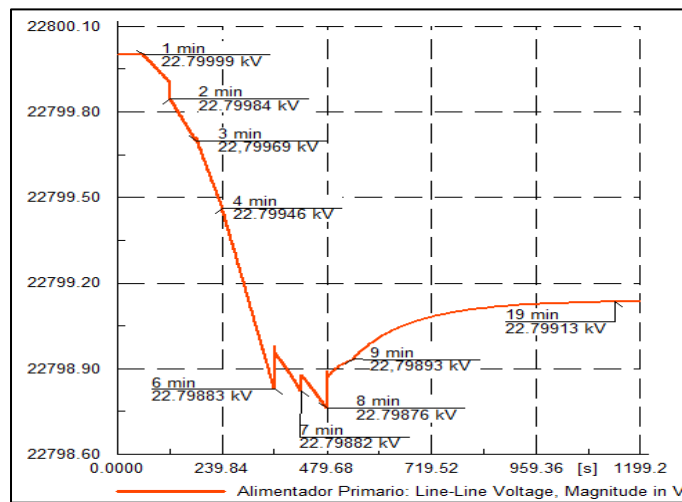
Para esta simulación se plantea las siguientes consideraciones de operación con el fin de evaluar el caso de estudio:

- El horizonte de tiempo para la simulación es de 20 minutos.
- Al iniciar la simulación las unidades de GD se encuentran conectadas a la RD
- El bloque de aerogeneradores del Nodo 1 a partir de 1 minuto son desconectados de la RD.
- El bloque de paneles fotovoltaicos del Nodo 2 se desconecta a partir de 2 minutos.

- En el Nodo 3, el bloque de aerogeneradores y el bloque de paneles fotovoltaicos se desconectan a los 3 y 4 minutos respectivamente.
- A los 6 minutos se realiza la conexión en el Nodo 1 del bloque de aerogeneradores.
- A los 7 minutos se realiza la conexión en el bloque 2 del bloque de sistemas fotovoltaicos.
- En el Nodo 3 se realiza la conexión del bloque de aerogeneradores a los 8 minutos y del bloque de sistemas fotovoltaicos a los 9 minutos respectivamente

Estas consideraciones se han tomado con la finalidad de evaluar el comportamiento del nivel de voltaje en la RD.

Se realiza la simulación del sistema, los resultados de los niveles de tensión en la Barra BT que se observa en la Figura 66



**Figura 66 Nivel de voltaje en alimentador primario.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

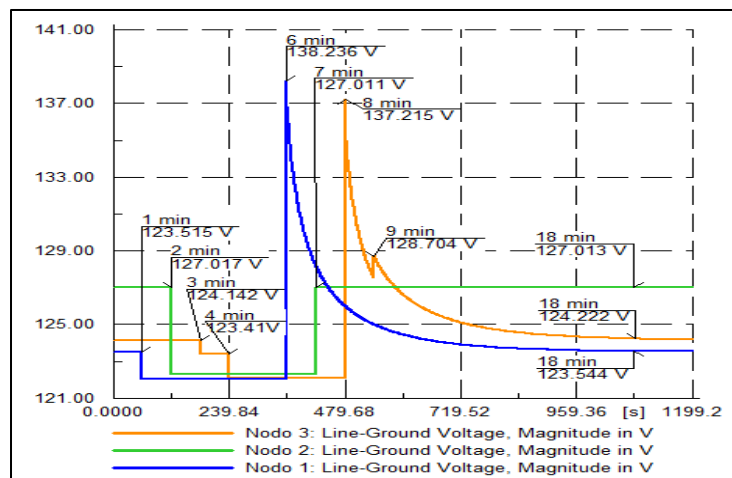
A continuación se muestran los resultados de la simulación.

- Se observa que el nivel de voltaje en la Barra MT del alimentador primario, es de 22,79999 kV, al inicio de la simulación cuando la GD de los tres nodos del sistema se encuentran en paralelo con la RD
- El voltaje cambia su nivel conforme se realiza las desconexiones de cada bloque en cada nodo, su valor más bajo es a los 8 minutos 22,79876 kV, sin que se produzca una variación de voltaje muy alta en relación con el nivel de voltaje

del alimentador primario.

- Posteriormente el nivel de voltaje aumenta a 22,79913 kV, cuando se encuentra conectada toda la GD al sistema.
- El nivel de voltaje, si presenta un cambio durante las diferentes operaciones de la GD con el sistema.

En la Figura 67 se visualiza el nivel de voltaje en cada uno de los nodos de la RD en BT.



**Figura 67 Voltaje en nodos de BT caso 2.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

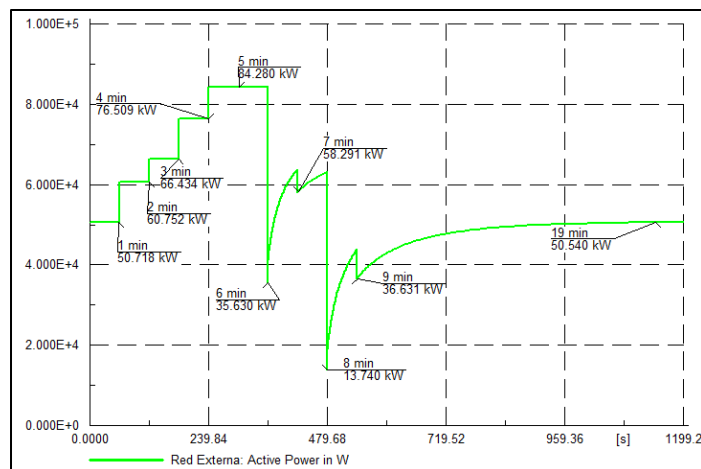
Estos niveles de voltaje muestran las siguientes acotaciones:

- Al iniciar la simulación el nivel de voltaje del Nodo 1 es 123.51 Voltios, que es el nivel de voltaje más bajo de los nodos.
- Cuando el bloque de aerogeneradores sale del sistema el voltaje es de 122,03 voltios en el nodo 1
- El nodo 2 tiene un voltaje de 127,01 voltios a los 2 minutos, luego que todos los sistema fotovoltaicos son desconectados, el nivel de voltaje es de 122,29 voltios.
- El nodo 3 presenta un inicialmente un nivel de voltaje de 124,14 voltios, cuando el bloque de aerogeneradores se desconecta el nivel de voltaje es de 123,41 voltios. A los 4 minutos, se procede a desconectar los sistemas fotovoltaicos y el nivel de voltaje disminuye hasta 122.08 voltios.
- El nivel de voltaje en el nodo 1 aumenta cuando el bloque de aerogeneradores

ingresan en paralelo con el sistema, a los 6 minutos, el nivel de voltaje se incrementa a 138,23 voltios, en este punto inicia el control de voltaje por parte de la GD.

- A los 7 minutos ingresan los sistemas fotovoltaicos los cuales elevan el nivel de voltaje hasta 127,01 voltios.
- El nivel de voltaje en el nodo 3 se eleva a 137,21 voltios a los 8 minutos cuando se conectan los aerogeneradores.
- En el nodo 3 se observa que a los 9 minutos cuando los sistemas fotovoltaicos ingresan al sistema, existe un incremento en el nivel de voltaje que es detectado por el control de voltaje de los aerogeneradores, y es regulado ya que se encuentran en el mismo nodo.
- Una vez que los niveles de voltaje han sido regulados, el nivel de voltaje de los nodos 1, 2 y 3 tomado a los 18 minutos es de 123,54 voltios, 124,22 voltios y 127,01 voltios respectivamente.

En la Figura 68 se observa el nivel de potencia que se encuentra presente en el sistema.



**Figura 68 Nivel de potencia alimentador primario caso 2.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

Es importante acotar las siguientes observaciones:

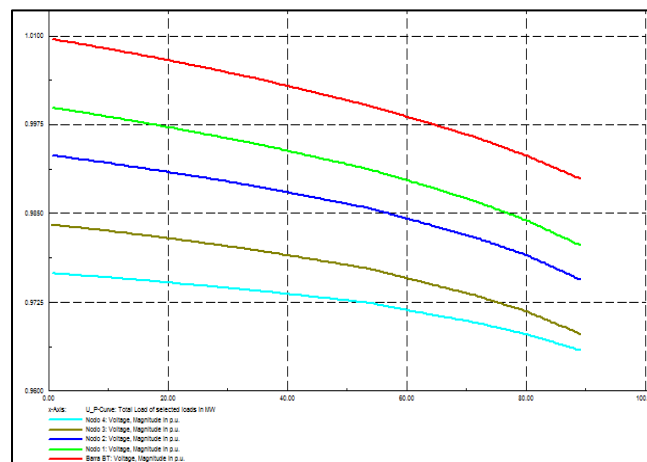
- Al inicio de la simulación cuando la GD se encuentra trabajando en paralelo con el sistema, la potencia es de 50.718 kW.
- Cuando se ha retirado del sistema toda la GD, el nivel de potencia es de 84.280 Kw.

- Conforme se conectan los aerogeneradores a la RD, el nivel de potencia manifiesta cambios de nivel importantes.
- Cuando toda la GD se encuentra operando en el sistema nuevamente el nivel de potencia es de 50.54 kW, es decir el mismo nivel que al inicio de la simulación.

### 3.4 Análisis de las Variables Involucradas

Para el análisis de variables involucradas se utiliza la curva PV, la cual indica el límite de operación del sistema, es la relación entre el nivel de voltaje con la potencia del sistema, conforme aumente la potencia requerida por el sistema, el nivel de voltaje disminuye, hasta llegar al punto crítico por consiguiente al colapso del sistema.

La GD al tener propiamente sistemas para el control de nivel de voltaje, monitorea constantemente este parámetro, sin embargo cuando el nivel de voltaje disminuye a un valor menor al establecido en control de la GD, el sistema desconecta la o las unidades que se encuentren conectadas a la RD. En la Figura 69 se muestra la curva de potencia PV correspondiente al escenario 2 el caso con baja demanda.



**Figura 69 Curva P V escenario 2 simulaciones con baja demanda.**

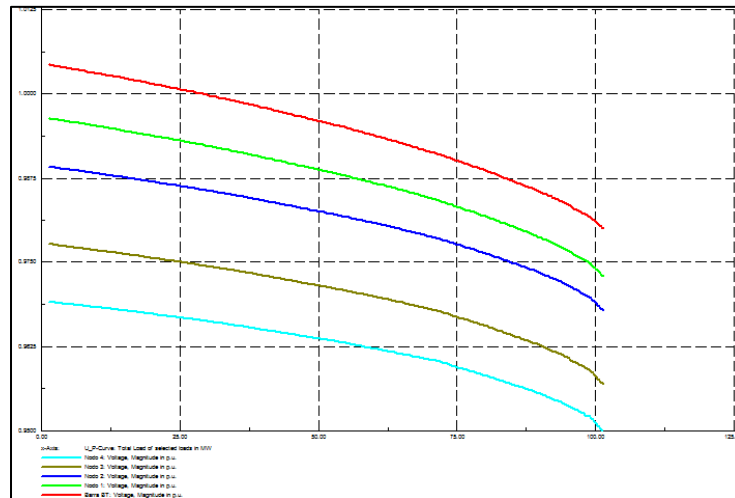
*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

Se observa un comportamiento distinto entre las curvas de cada nodo en referencia con la de la Barra BT, se puede observar que el Nodo 4 posee un mejor margen de estabilidad de voltaje, esto por las unidades de GD con un margen de generación de reactivos que aportan en el nivel de voltaje del sistema.

En la Figura 70 se observa la curva PV referente al escenario 2 en el caso de alta demanda.

Se observa que no existe una diferencia sustancial entre la curva de la barra BT, y las curvas referentes a los demás nodos, esto debido a que la potencia de la GD es mucho menor a la demanda instantánea registrada para este caso.

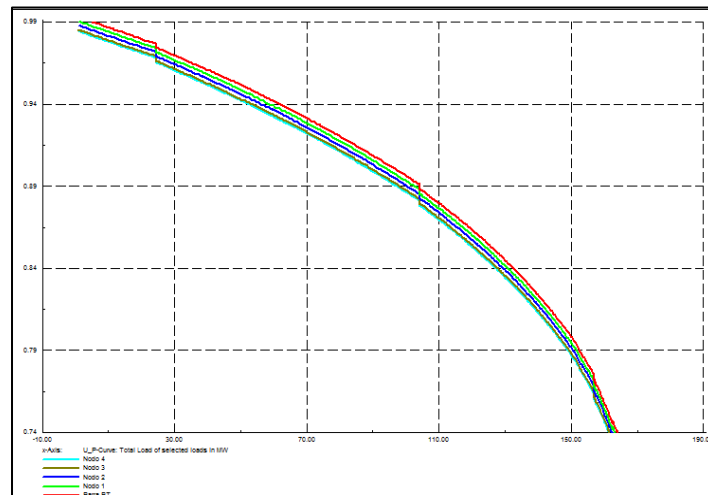
Es por esta razón que el margen de estabilidad de voltaje es similar entre las curvas.



**Figura 70 Curva P –V escenario 2 simulación alta demanda.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

En la Figura 71 se puede observar la curva PV correspondiente al escenario 3 con sistemas fotovoltaicos.



**Figura 71 Curva PV escenario 3 sistemas fotovoltaicos.**

*Fuente: Software DigSilent, versión 14.1.3, resultados de simulación, Autor.*

Se observa que las curvas de cada nodo son muy semejantes a la barra BT ya que en este caso estos sistemas no poseen mayor potencia reactiva para entregar a la RD.

## CAPÍTULO IV

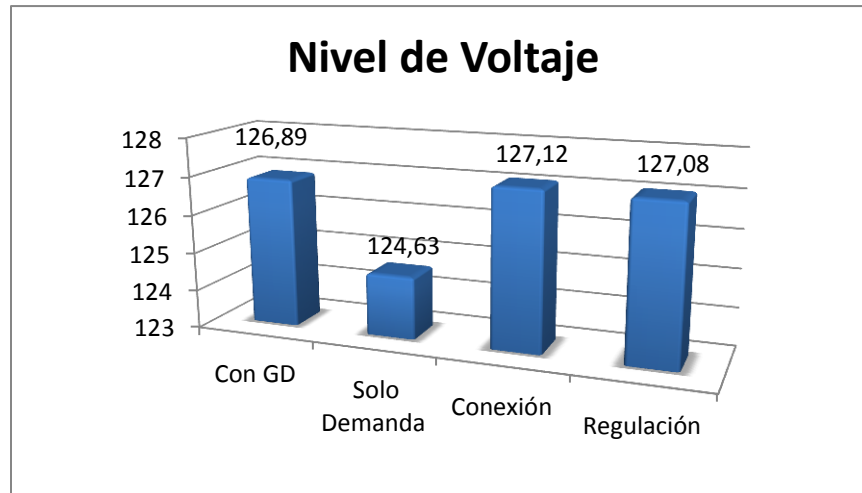
### 4.1 *Análisis de Resultados*

De acuerdo a los escenarios simulados se obtiene resultados en los cuales se muestra la variabilidad de voltaje por el impacto de la integración de la generación distribuida debido a diferentes variables que han intervenido. Se muestra el análisis de resultados de las simulaciones realizadas en los diferentes escenarios.

#### 4.1.1 Escenario 1

En este escenario se realiza con las siguientes condiciones operativas:

- Se establece para la simulación una demanda equivalente a 25 kW, potencia instalada del transformador de distribución 30 kVA.
- Para la GD se utiliza un generador eólico el cual representa un generador virtual, o un grupo de aerogeneradores con varias máquinas conectadas en paralelo, las cuales aportan 15 kW al sistema. En la Figura 72 se muestra el comportamiento del nivel de voltaje en los diferentes estados de la RD.
- La primera barra de la gráfica indica el nivel de voltaje cuando la demanda y GD se encuentra operando en paralelo con la RD, la barra que indica “solo demanda”, indica el nivel de voltaje que posee la barra BT en el instante en que solo se encuentra conectada al sistema la demanda, la barra que indica “conexión” hace referencia al instante propiamente en que la GD se conecta a la RD el valor que se registra es el máximo por este evento, la última barra correspondiente a “regulación” indica el nivel de voltaje en que registra la barra BT luego de que la regulación del nivel de voltaje por parte de la GD se ha realizado.



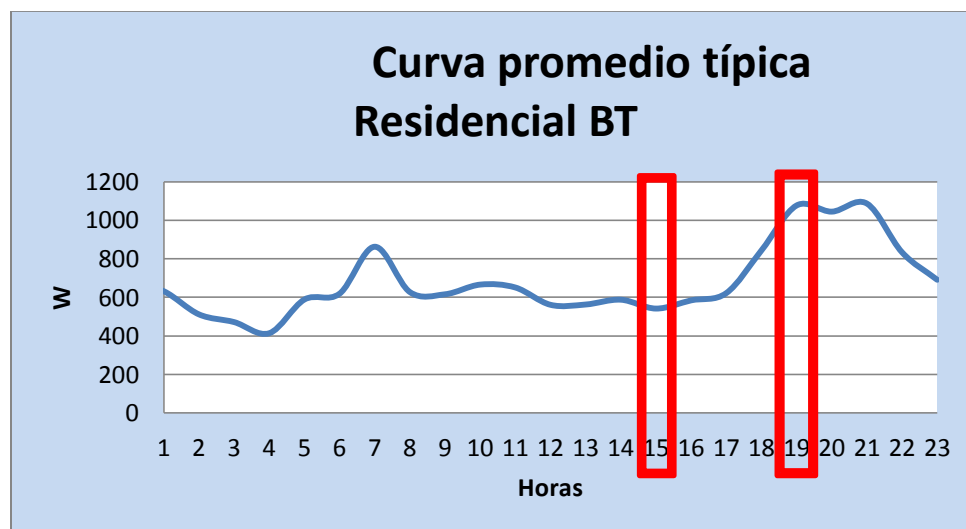
**Figura 72 Nivel de voltaje Escenario 1.**

*Fuente: Autor.*

De los resultados obtenidos, el nivel de voltaje presenta una diferencia en su valor no mayor a 3 voltios con respecto al nivel de voltaje del sistema cuando solo se encuentra conectada la demanda en la RD, lo que no representa un problema de estabilidad de voltaje dentro de los niveles establecidos por la EEQSA, y a las normas internacionales ANSI 84.1, Estándar IEEE 1547.

#### 4.1.2 Escenario 2

Este escenario evalúa dos puntos de la curva de demanda promedio residencial como se puede visualizar en la Figura 73.



**Figura 73 Puntos de la curva utilizados en el escenario 2**

*Fuente: Curva promedio típica residencial BT, Medidores Inteligente, Javier Chamorro,*



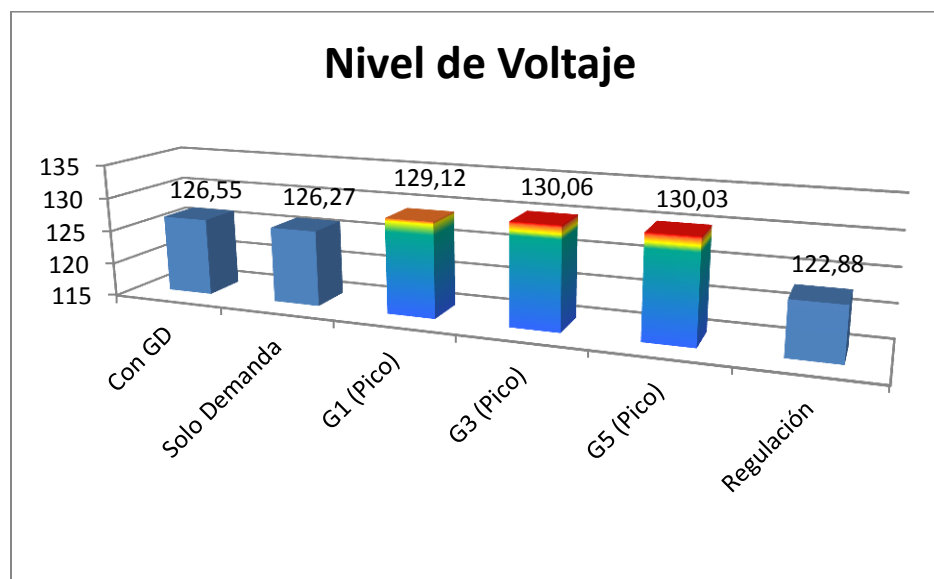
De igual manera la potencia de los aerogeneradores y de paneles fotovoltaicos, depende del estado del recurso primario evaluado en ese instante.

➤ Baja Demanda.

Este caso es muy particular a los otros escenarios ya que se evalúa de acuerdo a las siguientes condiciones.

- Horizonte de tiempo de 20 minutos.
- El nivel de la demanda del sistema es 5,41 Kw.
- El nivel potencia que aporta la GD al sistema es 10,39 Kw, lo que representa que la GD tiene un nivel de penetración de 192% en función de la demanda instantánea.

En cada nodo se admite solo un aerogenerador configurado en modo control de voltaje, es por esto que en la Figura 74 se evalúa el nivel de voltaje pico en los generadores G1, G3 y G5 respectivamente.

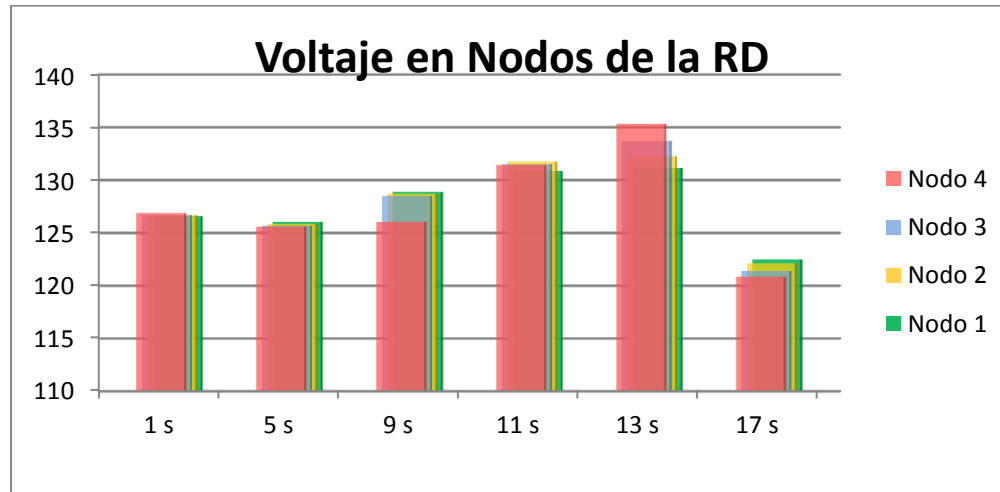


**Figura 74 Nivel de voltaje barra BT escenario 2 baja demanda.**

*Fuente: Autor.*

En este caso la potencia suministrada por la GD es superior a la demanda instantánea existente en el sistema, lo que permite tener un nivel de generación que puede ser utilizado aguas arriba del alimentador primario en donde la potencia sea necesaria para solventar a la demanda, lo que convierte al sistema en bidireccional.

En la Figura 75 se presenta una evaluación del nivel de voltaje en los nodos, como se puede observar el nodo que presenta un mayor cambio en su nivel de voltaje es el nodo 4.



**Figura 75 Nivel de voltaje en Nodos de la RD escenario 2 baja demanda.**

*Fuente: Autor.*

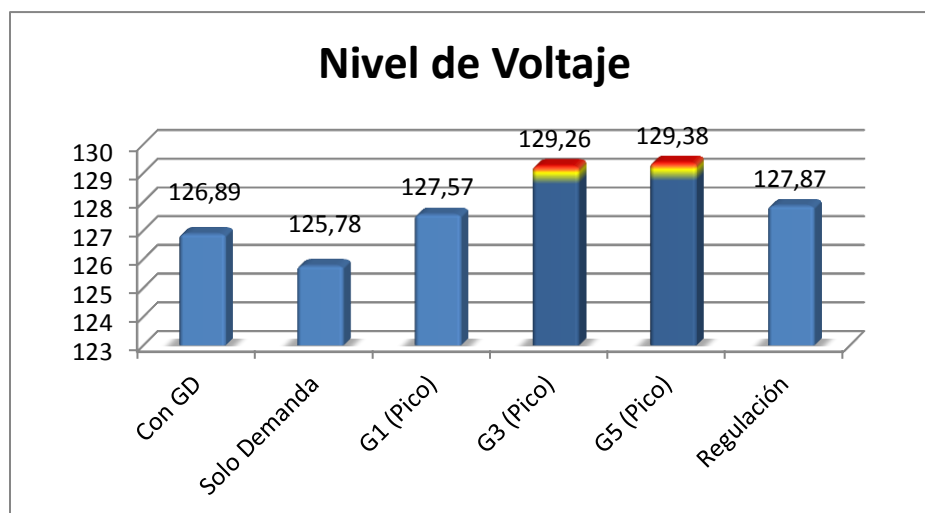
Esta gráfica nos indica que el nodo 4 al ser el más lejano de la RD, llega a tener un mayor nivel de voltaje cuando ingresan las unidades de GD, ya que la demanda en estos nodos es menor que en los demás.

#### ➤ Alta Demanda.

Este caso se evalúa con las siguientes consideraciones.

- El horizonte de tiempo es de 20 minutos.
- El nivel de la demanda del sistema es 10,77 kW.
- El nivel potencia que aporta la GD al sistema es 3,99 Kw, lo que representa que la GD tiene un nivel de penetración de 37% en función de la demanda instantánea.

En la Figura 76 se evalúa el nivel de voltaje en el escenario, incluyendo el voltaje pico en los generadores G1, G3 y G5 respectivamente.

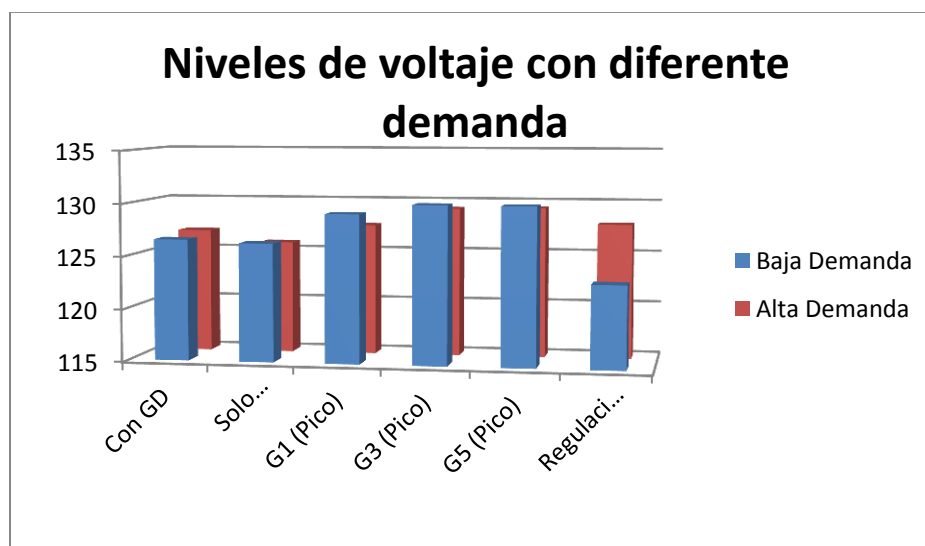


**Figura 76 Nivel de voltaje escenario 2 alta demanda.**

*Fuente: Autor.*

Se observa que el mayor nivel de voltaje se registra cuando el G5 entra en paralelo con la RD, existe un nivel de voltaje más controlado en todo el sistema con relación al escenario 2 con baja demanda, nivel de voltaje luego de la regulación es muy cercano al inicial.

Al realizar una comparación del escenario 2 entre alta y baja demanda referente al nivel de voltaje en la barra BT, se representa en la Figura 77.



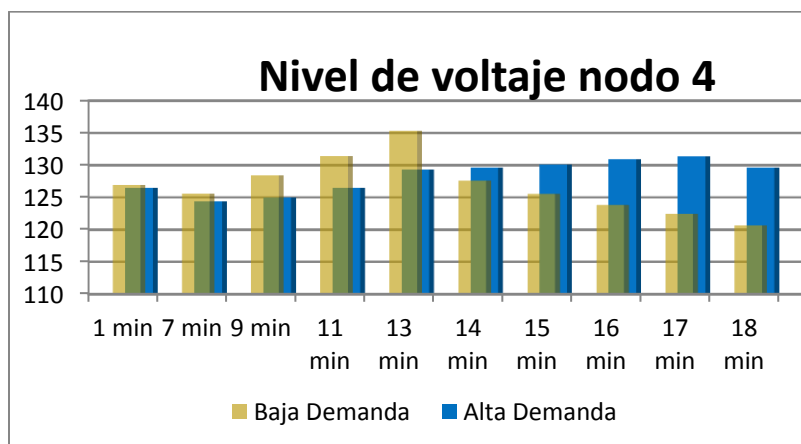
**Figura 77 Gráfica comparativa niveles de voltaje escenario 2.**

*Fuente: Autor.*

Podemos observar que el nivel de voltaje tiene en el caso de baja demanda presenta un mayor cambio en su nivel, especialmente cuando ingresan las unidades de GD, así

como también cuando se realiza la regulación del nivel de voltaje.

La siguiente figura muestra el comportamiento del nivel de voltaje en el nodo 4, el cual presenta una mayor diferencia en su nivel de voltaje durante la simulación.



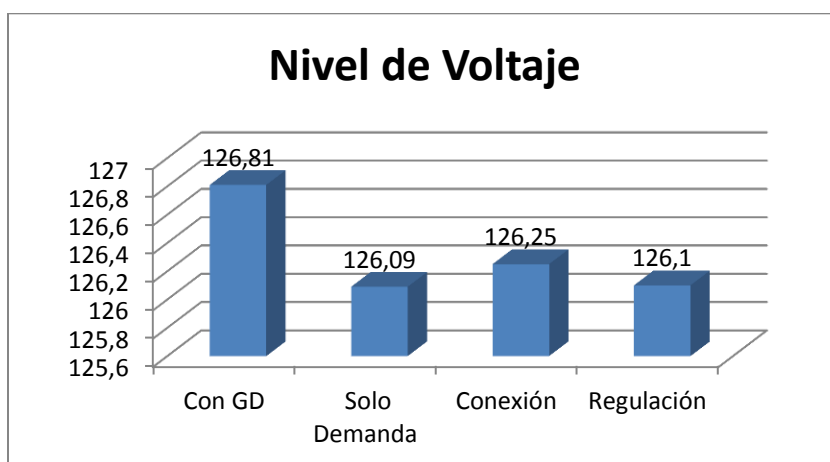
**Figura 78 Niveles de voltaje nodo 4 escenario 2.**

*Fuente: Autor.*

#### 4.1.3 Escenario 3: Sistemas Fotovoltaicos.

Este escenario evalúa el comportamiento de sistemas fotovoltaicos dentro de una RD, idealmente un sistema fotovoltaico es una fuente de GD que únicamente produce potencia activa ( $\cos \phi = 1$ ), este es el caso de los sistemas fotovoltaicos con convertidores electrónicos de potencia.

En la Figura 79 se muestra los cambios en el nivel de voltaje de la RD con sistemas fotovoltaicos en paralelo.



**Figura 79 Nivel de voltaje escenario 3.**

*Fuente: Autor.*

Se considera por simplicidad que el nivel de voltaje en la RD no tiene un significativo cambio, de lo cual se deduce que la tecnología fotovoltaica mediante convertidores electrónicos de potencia, produce un menor impacto en la estabilidad de voltaje de la RD.

En el escenario 2 y 3 se ha utiliza GD en mayor proporción en el nodo 4 el más lejano de la RD, con el objetivo de verificar el nivel de voltaje, el resultado refleja claramente que la GD compensa la pérdida de voltaje por la distancia del conductor, el nivel de voltaje se incrementa progresivamente durante el ingreso de GD, por el tipo de control de voltaje utilizado el nivel es controlado desde su ingreso así como también durante el tiempo que se encuentra operando, la susceptibilidad del control de voltaje depende enteramente del equipo de control.

#### 4.1.4 Caso 2: Alimentador Primario.

Este escenario tiene como objetivo el evaluar el comportamiento del nivel de voltaje en el alimentador primario, cuantificar el impacto de la GD en un sistema determinado, se ha tomado para este caso en particular un nivel de demanda fijo de 28 KVA para llevar al límite de operación a los transformadores del sistema.

En la Figura 80 se puede observar el comportamiento del nivel de voltaje durante el tiempo.

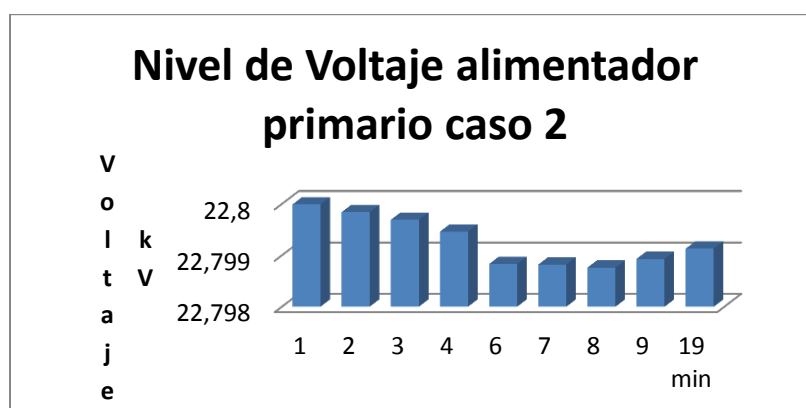


Figura 80 Nivel de voltaje en barras Caso 2.

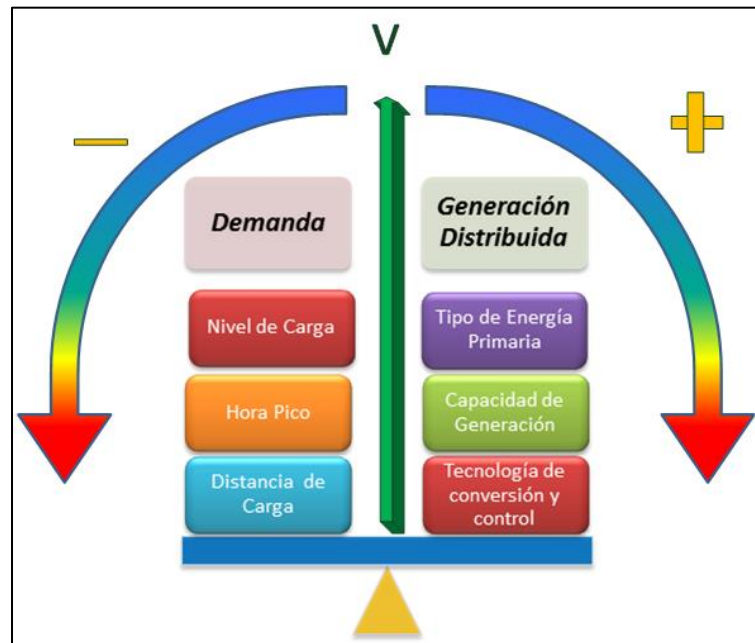
*Fuente: Autor.*

De la gráfica se puede observar que el nivel de voltaje disminuye pero no en un nivel considerable o que pueda tener una afectación directa en el sistema.

#### 4.2 Límites de Generación Distribuida en Alimentador Primario

De acuerdo a las simulaciones realizadas, el límite de generación distribuida depende en algunos factores:

En la Figura 81 se muestra varios parámetros que influyen en la estabilidad del nivel de voltaje.



**Figura 81 Factores que afectan al nivel de voltaje en una RD.**

*Fuente: Autor.*

En cuanto a la demanda, el nivel de carga, la hora en la que se registre la demanda, así como también la distancia a la que se encuentre la carga, del transformador, determinan la caída de voltaje en la RD.

Para la GD el tipo de energía primaria, va a determinar la ubicación y la factibilidad para la instalación de unidades de generación. Como va a ser el comportamiento de la GD, las horas del día o las épocas del año en las que las unidades de generación van a funcionar aprovechando de mejor manera el potencial del recurso.

La tecnología de la unidad de generación, define su comportamiento lo que a su vez plantea la necesidad de utilizar una tecnología tanto para la conversión a energía eléctrica cuanto para el control del nivel de voltaje así como para diferentes parámetros que mantienen la estabilidad del sistema.

Una de las tecnologías en que la energía primaria influye directamente, son los sistemas eólicos, en donde una gran y constante velocidad del viento son necesarios para la producción de electricidad.

Las turbinas de velocidad variable utilizan al generador de inducción doblemente alimentado, con control de voltaje y velocidad. La potencia entregada que genera este tipo de unidades, puede ser dominada por la velocidad del viento tomando en cuenta lo siguiente:

El aerogenerador tiene un rango mínimo y máximo respecto a la velocidad del viento en el que realiza la regulación, si la velocidad del viento sale de este rango, los controles dejan de ser efectivos y solo pueden entregar la cantidad de energía disponible en la velocidad del viento, lo que afecta su desempeño. A velocidades superiores los controles trabajan muy rápidamente garantizando la estabilidad en el nivel de voltaje.

Los límites de generación de un alimentador primario por lo general se encuentran sobre dimensionados, con la finalidad de proporcionar un margen para el crecimiento de las redes, motivo por el cual la capacidad de potencia que posee un transformador por lo general está sobre la demanda máxima, por seguridad de los usuarios y del equipo el criterio es correcto, sin embargo este sobre dimensionamiento del equipo, genera una pérdida a la empresas eléctricas ya que un equipo de mayor capacidad, tiene un mayor costo.

Una de las consideraciones por la implementación de GD a las redes es que debe considerarse el nivel de GD en una RD para dimensionar los transformadores a un nivel que permita una operación más cercana al requerimiento propio de las redes.

- Comportamiento de la demanda en usuarios residenciales.
- Comportamiento de la velocidad del viento.
- Niveles de radiación solar.

Estas variables son determinantes para evaluar el comportamiento del sistema en el tiempo.

Sin embargo el nivel de penetración de la GD dentro de la RD es un parámetro importante ya que es un indicador con respecto a la carga instalada y la GD que se encuentra dentro del sistema.

#### 4.3 Condiciones de Operación de Generación Distribuida

De acuerdo al criterio normativa IEEE 1547 en la Tabla 5 se establece el nivel de voltaje y el tiempo en el cual se debe despejar el disturbio para que la GD no deba ser desconectada del sistema.

Rango de Voltaje (% de voltaje base)	Tiempo de Despeje (segundos)
$V < 50$	0,16
$50 \leq V < 88$	2
$88 \leq V < 120$	1
$V \geq 120$	0,16
<b>Nota: Voltajes nominales establecidos en la norma ANSI C84.1</b>	
<b>GD <math>\leq</math> 30 kW, máximo tiempo de despeje</b>	
<b>GD <math>&gt;</math> 30 kW, tiempo de despeje por defecto</b>	

**Tabla 8** Niveles de voltaje establecidos para despeje con protecciones.

*Fuente: Institute of Electrical and Electronics Engineers, "IEEE 1547.2 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems," vol. 2, pp. 23–45, 2009.*

En la actualidad los generadores de inducción, utilizan convertidores electrónicos de potencia auto-conmutados, lo que ayuda en gran parte a solventar el problema de estabilidad en nivel de voltaje de la red, sin embargo la inyección de potencia activa, reduce las pérdidas de potencia y en consecuencia se aumenta la estabilidad del nivel de voltaje del sistema.

Del presente estudio se toma las siguientes consideraciones que influyen directamente en comportamiento del nivel de voltaje de la red:

- En el Ecuador es necesaria una normativa para la GD a nivel de RD, la cual debe incluir lineamientos técnicos, capacidad de generación, límites operativos entre otros aspectos que deben ser evaluados.
- Un estudio de factibilidad tanto del recurso primario, como de requerimientos para la instalación de GD es necesario para aprovechar de mejor manera el potencial de generación, así como de cumplir técnicamente con ciertos lineamientos que pueden hacer referencia al Estándar IEEE 1547.
- La determinación del tipo tecnología en GD a utilizarse, previo estudio de



factibilidad, debe hacerlo el Gobierno Central a través de la entidad encargada, la cual debería impulsar el estudio, diseño y elaboración de las unidades de generación localmente (siempre que los recursos se encuentren disponibles), para de esta manera apoyar al cambio de la matriz energética.

- Las empresas de distribución eléctrica deben prever la tecnología necesaria en sus redes para poder utilizar GD, así como también deben proveer la información necesaria al usuario sobre el uso, los beneficios de la GD.
- Los usuarios deben acogerse a todos los lineamientos y requerimientos por parte de las empresas eléctricas y evitar la instalación de unidades de generación que se encuentren fuera del alcance o que no cumplan con los requerimientos técnicos de la normativa propuesta.

#### **4.4 Evaluación del Impacto**

El nivel de voltaje en sistemas eléctricos siempre ha sido objeto de estudio ya que la confiabilidad del sistema se traduce en la estabilidad el mismo.

La investigación diseño e implementación de elementos para monitoreo y control ha sido constante para determinar el comportamiento de sistemas, evaluar su vulnerabilidad ante fallas, y su capacidad de recuperación.

Las fluctuaciones en los niveles de voltaje son generalmente comunes en los nodos más lejanos de la RD en una topología radial, debido a la impedancia de línea principalmente, el sistema presenta una mayor caída en el nivel de voltaje si la carga está concentrada en los nodos más lejanos de la RD.

La integración de GD presenta un nuevo escenario en cuanto a la operación de la RD, en efecto algunas tecnologías poseen características definidas en cuanto al flujo de potencia reactiva, lo que repercute directamente en el nivel de voltaje de la red.

Es un hecho que las fuentes de GD que emplean convertidores eléctricos de potencia, permiten un rápido y preciso control en cuanto al nivel de voltaje en la salida. De esta manera la potencia reactiva puede ser generada o absorberse dependiendo la configuración del control. Sin embargo el factor de potencia de estos convertidores es normalmente se encuentra configurado para operar en un punto cercano al de la unidad, sin que ninguna potencia sea inyectada a la RD.

Por lo que el impacto en la estabilidad del nivel de voltaje del generador en la red es positivo, esto se debe a que la mejora en el perfil de voltaje de la RD disminuye las pérdidas de potencia reactiva.

El impacto en la estabilidad del voltaje por la integración de GD evaluado en el Capítulo 3 determina que el nivel de voltaje en la RD, es afectado de manera que no produce niveles de voltaje que excedan los límites permitidos por la EEQSA, y la normativa internacionales ANSI 84.1 Sin embargo el intervalo de tiempo en que el sistema de control realiza debe ser regulado de acuerdo a la Tabla 5 de la norma IEEE 1547.

La evaluación del nivel de penetración que puede utilizarse en una RD, sin que se rebase los límites de operación, dependen totalmente del caso específico, teniendo en cuenta la normativa, así como la capacidad de generación de las unidades de GD.

## CONCLUSIONES

- La normativa establecida por el CONELEC para la utilización de GD a nivel residencial es muy general y no especifica un criterio técnico para la instalación y la operación de la GD.
- El estándar IEEE 1547 posee parámetros técnicos para la integración y funcionamiento de unidades de GD, con criterios para salvaguardar la integridad de la RD.
- Es necesario que los aerogeneradores posean un sistema de control de nivel de voltaje para mantener sus parámetros dentro de los niveles de la RD.
- El integrar aerogeneradores a la RD produce un aumento en el perfil de voltaje sin embargo el efecto es menor al integrar individualmente las unidades, ya que al hacerlo en bloques, el cambio en el nivel es mayor.
- El uso de GD en los nodos más lejanos de la RD mejora el nivel de voltaje debido al control de voltaje de las unidades de generación, y al menor flujo de potencia en las redes de distribución que conlleva a tener menores pérdidas.
- El generador de inducción conectado directamente a la RD es una de las tecnologías más deficientes para el control de nivel de voltaje ya que al no poder controlar su potencia activa y reactiva tienden a causar desviaciones en el nivel de voltaje de la RD.
- Se produce un cambio en el nivel de potencia activa y reactiva de las máquinas de velocidad fija, debido al comportamiento del viento, por lo que un histograma de viento permite dar un criterio acerca del horario en el que puede operar un generador eólico.
- Para minimizar el impacto en la estabilidad de voltaje, por la utilización de aerogeneradores, estos deben poseer la capacidad de controlar voltaje con la finalidad de reaccionar ante cualquier cambio en el sistema.
- Mediante la curva PV se demuestra un aumento en la estabilidad del perfil de voltaje en los nodos más lejanos de la RD en los cuales se encuentra presente la

GD.

- Independientemente de la ubicación de la GD dentro de la RD, su operación influye en el nivel de voltaje de todos los nodos del sistema.
- Entre los principales factores que inciden en la estabilidad de voltaje de la RD se encuentra por parte de la carga el nivel de demanda instantánea, el cual al ser mayor en los nodos más lejanos produce un nivel de voltaje disminuya.

## RECOMENDACIONES

- Para realizar la instalación de una o varias unidades de GD en un punto determinado, es necesario realizar un estudio de factibilidad del potencial del recurso primario de energía.
- El uso de GD por parte de los usuarios, debería ser compensado económicamente por el factor de potencia disponible para la RD, cuando así lo requiera la empresa eléctrica distribuidora,
- Las empresas distribuidoras de energía eléctrica deben considerar en sus nuevas normativas de diseños de RD los equipos necesarios para las protecciones, comunicaciones y entre otros requerimientos constructivos que prevean el uso de GD dentro de la red.
- Cuando se produce un evento en la RD que amenaza la estabilidad de voltaje, debe ser la empresa distribuidora la que proporcione a la RD potencia reactiva con la finalidad de estabilizar el nivel de voltaje, por su parte la GD con sus sistemas de control deben trabajar hasta sus límites máximos operativos de las máquinas y cuando este nivel sea superado la GD procederá a desconectarse.
- Para la instalación de GD en un sitio determinado, es fundamental evaluar la magnitud del recurso primario, para determinar la factibilidad de su uso y la capacidad de generación.
- El tipo de GD según su tecnología, determina el comportamiento en la RD.
- Los sistemas auxiliares de control deben configurarse para trabajar dentro del nivel de voltaje adecuado, manteniendo parámetros semejantes a los de la RD.

## BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Organización de las Naciones Unidas, *Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*, vol. 61702. 1998, pp. 2–5.
- [2] M. Vignolo, “Transmission networks or distributed generation?,” *Universidad de Uruguay, Facultad de Ingenieria Eléctrica*, pp. 1–5, 2001.
- [3] M. Fu, Y. Xue, and C. Ge, “Effects of distributed generation interconnections on voltage of distribution system,” in *(IFOST), Strategic Technology 6th International Forum, Harbin, Heilongjiang*, 2011, no. 1, pp. 503–507.
- [4] Instituto Nacional de Eficiencia Energética Energías Renovables and INER, “Redes Inteligentes y Generación Distribuida,” *Programa de Redes Inteligentes Ecuador*, pp. 2–6, 2013.
- [5] G. Carpinelli, A. Russo, F. Pilo, and G. Celli, “Distributed Generation Siting and Sizing under Uncertainty,” in *Proc. IEEE Power Tech Proceedings, Porto*, 2001, pp. 1–3.
- [6] D. Thukaram and C. Vyjayanthi, “Relative electrical distance concept for evaluation of network reactive power and loss contributions in a deregulated system,” *Generation, Transmission & Distribution, IET*, vol. 3, no. 11, pp. 1000–1019, 2009.
- [7] L. Ackermann, Thomas; Andersson, Göran; Söder, “Distributed generation : a definition,” *Electric Power Systems Research, ELSEVIER*, pp. 195–204, 2001.
- [8] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “IEEE 1547.2 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems,” vol. 2, pp. 23–45, 2009.
- [9] M. Donnelly, S. Papathanassiou, J. A. Lopes, M. Takasaki, H. Chao, J. Usaola, R. Lasseter, A. Efthymiadis, K. Karoui, and S. Arabi, “Modeling new forms of Generation and Storage,” *CIGRE Technical Brochure*, vol. 38, no. 10, pp. 10–23, 2000.
- [10] F. Gonzalez and C. Fortoul, “Review of the Distributed Generation Concept : Attempt of Unification Key words.” pp. 1–4, 2005.
- [11] Consejo Nacional de Electricidad Ecuador, “Regulacion CONELEC 004-01 Resolución 023/11,” p. 17, 2011.
- [12] Consejo Nacional de Electricidad Ecuador, “Regulación CONELEC - 009/08 Resolución 127/08,” pp. 5–8, 2008.
- [13] Consejo Nacional de Electricidad, “Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022,” *Resumen Ejecutivo CONELEC*, pp. 24–30, 2012.
- [14] Consejo Nacional de Electricidad, “Indicadores CONELEC Porcentaje de Cobertura Eléctrica Urbana y Rural, Empresas Distribuidoras,” p. 1, 2010.

- [15] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER, “Electrificación Rural con Energías Renovables,” *Proyectos Emblemáticos Ecuador*, p. 8, 2013.
- [16] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER, “Programa EURO-SOLAR,” *Energía renovable para el desarrollo*, pp. 3–5, 2009.
- [17] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER., “Informe de rendición de cuentas 2012,” pp. 11–24, 2012.
- [18] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER, “Parque Eólico Villonaco,” *Inicio de Operaciones Proyecto Eólico*, p. 3, 2013.
- [19] L. Gonzáles, “Tecnologías de Generación Distribuida: Costos y Eficiencia,” in *I Seminario de Ingeniería Eléctrica, UNEXPO, Puerto Ordaz*, 2004, pp. 1–4.
- [20] S. Niemi, “Survey of modern power plants driven by diesel and gas engines,” *Technical Research Centre of Finland*, vol. 2, pp. 12–18, 1997.
- [21] R. C. Dorf, *Systems controls embedded systems energy and machines*. 2006, pp. 11–19, 25–28.
- [22] H. Asgari, X. Chen, and R. Sainudiin, “Considerations in modelling and control of gas turbines — A review,” in *2nd International Conference on Control, Instrumentation and Automation (ICCIA)*, 2011, pp. 84–89.
- [23] J. R. Senft, *Ringbom Stirling engines*. Oxford: , 1993, pp. 34–45.
- [24] International Energy Agency and IEA, “Working Party on Renewable Energy Technologies,” in *Mobilising energy mobilising energy technology*, 2006, pp. 33–38.
- [25] P. Ledesma, “Análisis Dinámico de Sistemas Eléctricos con Generación Eólica,” *Tesis Doctoral, Universidad Carlos III de Madrid*, pp. 14–27, 2001.
- [26] B. H.J. Math, F. Hassan, and Y. Yang, “Integration Of Distributes Generation in the Power System - a power quality approach,” *Harmonics and Quality of Power, ICHQP. 13th*, vol. 2, pp. 1–8, 2008.
- [27] Manuel Lara Coira, “Reducción del riesgo en la dirección de proyectos de aprovechamiento de recursos eólicos,” *Tesis, Universidad de Coruña*, pp. 33–45, 2006.
- [28] P. Mitra, G. T. Heydt, L. Fellow, and V. Vittal, “The Impact of Distributed Photovoltaic Generation on Residential Distribution Systems,” in *IEEE North American Power Symposium (NAPS), Champaign IL*, 2012, pp. 1–6.
- [29] Empresa Eléctrica Quito and EEQS.A, “Guía para diseño parte a normas para sistemas de distribución,” *Ecuador, Quito*, pp. 1–154, 2014.
- [30] M. Pozueta, “Máquinas síncronas: potencias activa y reactiva. Pares. Estabilidad estática,” *Universidad de Cantabria*, pp. 3–14, 2012.

- [31] H. O. U. Shuang and G. A. O. Qinxiang, "Review of Impact of Distributed Generation on Distribution System," in *The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection*, 2011, pp. 219–222.
- [32] P. Kundur, *Power system stability and control*. New York: , 1994, pp. 67–74.
- [33] A. R. Wallace and G. Harrison, "Planning for Optimal Accommodation of Dispersed Generation in Distribution Networks," *The University of Edinburgh, United Kingdom*, pp. 1–3, 2003.
- [34] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER., "ATLAS EÓLICO DEL ECUADOR Con fines de generación eléctrica," *Potencial Eólico Ecuador*, pp. 7–11, 2013.
- [35] R. G. Farmer, "Power System Stability — Overview," in *Power System Dynamics and Stability*, 2001, pp. 4–8.
- [36] W. Hines and D. Montgomery, *Probabilidad y Estadística para ingeniería y administración*. Mexico: , 1996, pp. 12 – 17.
- [37] T. van Cutsem and V. Costas, *Voltaje Stability of Electric Power Systems*, Springer. 1998, pp. 24–33.
- [38] S. Johannes, Gerlof, *Wind Power Modelling and Impact on Power System Dynamics*, no. december. 2003, pp. 7–10.
- [39] S. Fritz and G. J. Gerdes, "Wind Turbine Grid Connection and Interaction," *Tech-wise A/S*, vol. 5, pp. 9–15, 2001.
- [40] M. Kayikci and J. Milanovic, "Reactive Power Control Strategies for DFIG-Based Plants," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 2, pp. 389 – 396, 2007.
- [41] A. Petersson, "Analysis , Modeling and Control of Doubly-Fed Induction Generators for Wind Turbines," CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2005.
- [42] W. Brokering, R. Palma, and L. Vargas, "Los Sistemas Eléctricos de Potencia," *Pearson Education*, 2008.
- [43] F. española para la ciencia y Tecnología, *Meteorología y Climatología*. Madrid, España: , 2004, pp. 24–26.



## Anexo 1

### Manual de Usuario DigSilent

El simulador utilizado es Digsilent Power Factory, Versión 14.1.3, es una herramienta asistida por computador para el análisis de la industria, servicios públicos, empresas eléctricas entre otras. Está diseñado como un avanzado, integrado e interactivo software que provee el análisis de control para el diseño, planificación, y optimización de diferentes sistemas eléctricos a diferente escala.

Las siglas de este programa corresponden a “Digital SIMulation Electrical Network Calculation Program”. Los resultados obtenidos por este programa han sido confirmados en varias aplicaciones, por las organizaciones que planifican el diseño y los parámetros de operación de un sistema de energía eléctrica.

Los requerimientos de los sistemas eléctricos de potencia requieren nuevas y confiables herramientas para el análisis de diferentes escenarios de operación, así como para ayudar a los sistemas a ser más robustos ante fallas o perturbaciones.

Este software es una herramienta de ingeniería integrada que proporciona una completa técnica a través de todas sus funciones disponibles lo que lo hace práctico, en lugar de tener varios módulos de funciones con software diferentes. Algunas de estas funciones son flujo de carga, análisis armónico, coordinación de protecciones, estabilidad y análisis modal entre otras funciones.

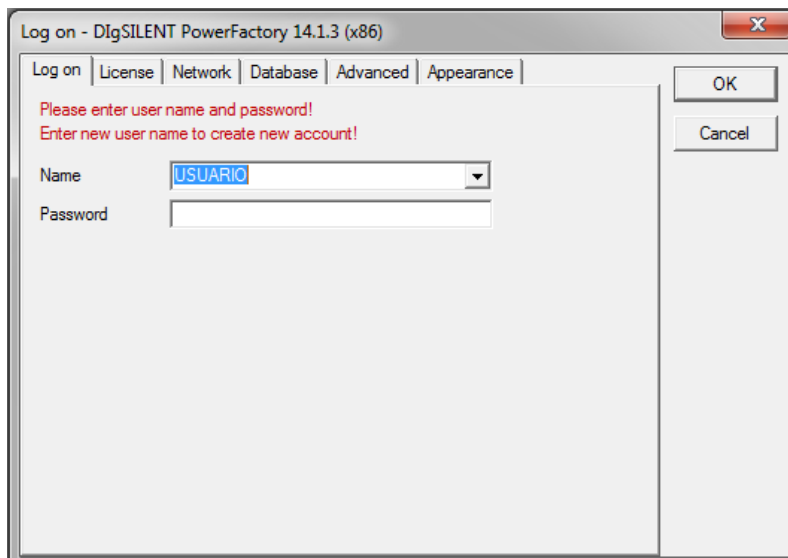
En la Figura 82 se puede observar el interfaz del software utilizado.



**Figura 82 Interfaz DigSILENT Power Factory.**

*Fuente: Software DigSilent, Versión 14.1.3.*

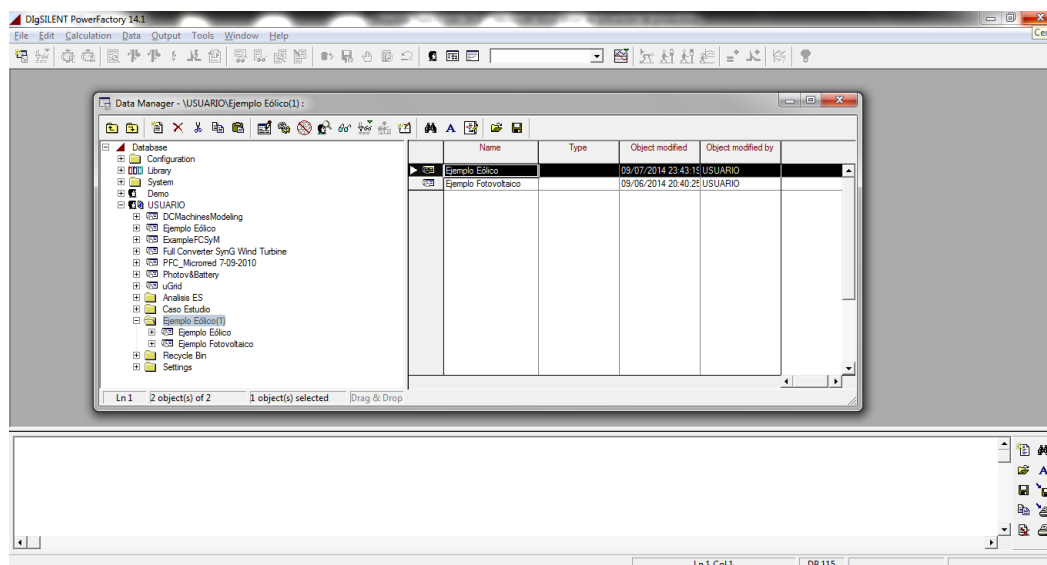
Cuando se ingresa, el programa pide establecer un nombre como se lo puede apreciar en la Figura 83, este a su vez crea una carpeta en el directorio interno del programa llamado “Data Manager”, el cual es muy similar al explorador de Windows.



**Figura 83 Acceso PowerFactory.**

*Fuente: Software DigSilent, Versión 14.1.3.*

En la Figura 84 se aprecia la ventana del “Data Manager” desplegada, desde aquí se puede abrir o cerrar los diferentes proyectos en que el usuario se encuentre trabajando.

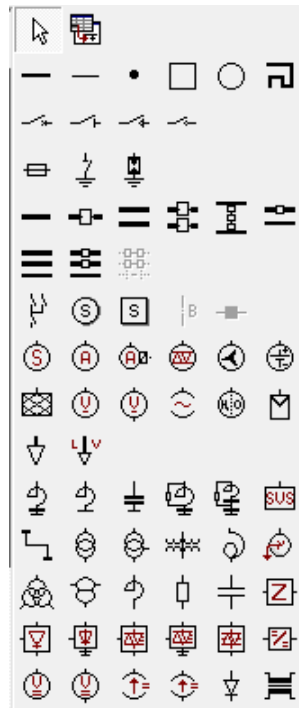


**Figura 84 Entorno de trabajo PowerFactory.**

*Fuente: Software DigSilent, Versión 14.1.3.*


Para insertar los elementos necesarios para realizar nuestro diagrama unifilar existe una barra de herramientas en la parte superior derecha, en la cual se selecciona el elemento ya sea este un transformador, una carga, un generador etc. La Figura 85 muestra los


elementos disponibles en PowerFactory.

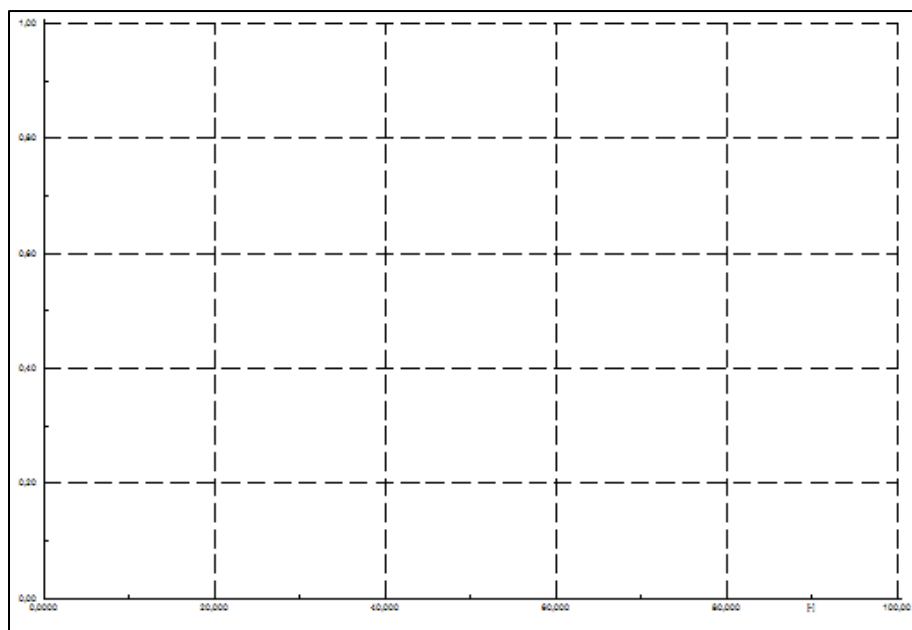


**Figura 85 Elementos eléctricos en PowerFactory para ser utilizados en diagramas unifilares**

*Fuente: Software DigSilent, Versión 14.1.3.*

PowerFactory posee una herramienta que se denomina  “Edit Simulation Event” que permite ingresar eventos en la simulación, es decir esta herramienta simula la conexión en paralelo de la RD en una hora determinada, así como también de los paneles fotovoltaicos, y el aumento de carga en función de la curva de demanda. Para

poder visualizar graficamente utiliza la herramienta  “Create Simulation Plot” esto genera una nueva hoja dentro del proyecto en el cual se asignan los parámetros de los elementos que se requiere obtener, se pueden tener varias gráficas de diferentes parámetros simultáneamente.



**Figura 86 Plano para gráficas en PowerFactory.**

*Fuente: Software DigSilent, Versión 14.1.3.*

## Anexo 2



### DIRECCION GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONÁUTICA SECCIÓN CLIMATOLOGÍA

AEROPUERTO: QUITO

MES: DICIEMBRE

AÑO: 2013

#### LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO

Día/Hrs.	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
1	ENE 2	SE 2	SE 3	E 2	WSW 2	SE 2	SSE 3	S 2	SSW 4	SSW 3	WNW 3	NW 4	N 7	NNW 6
2	CLM 0	SSE 2	SE 4	SSE 3	SSE 2	NE 1	SSE 2	SSE 5	W 2	SW 3	ENE 4	NNE 5	N 7	NNW 10
3	NNE 4	NNW 4	ENE 2	NE 3	NNE 3	ESE 1	NNE 1	SSW 2	WSW 3	SW 2	E 1	SSW 2	SSW 2	S 3
4	ESE 3	SE 4	CLM 0	NE 1	E 2	CLM 0	S 2	S 2	SSW 2	WSW 5	WSW 4	W 3	WNW 4	NNW 6
5	ENE 6	NNE 5	ESE 2	CLM 0	S 3	S 3	SE 3	SE 4	S 2	SSE 3	WSW 5	N 4	W 3	NNW 11
6	N 4	NNE 2	N 3	W 2	W 2	CLM 0	E 3	SE 3	S 2	SSW 5	W 4	W 4	NW 6	NNE 7
7	N 3	N 4	E 2	ENE 2	NE 3	NE 2	NW 2	WSW 2	NNE 2	NNW 2	ESE 2	NW 5	NNE 7	NNE 10
8	NNE 4	NE 3	N 3	NNE 3	NNE 4	N 4	NNE 3	NNE 2	NNW 3	NNW 3	NNW 3	N 4	N 7	N 10
9	N 3	N 4	N 7	N 7	N 7	N 6	NNE 3	N 3	N 3	WNW 2	SW 2	WNW 3	NNE 2	N 7
10	NNE 2	NE 2	ENE 2	SSE 2	SE 2	S 2	NE 2	SSE 3	SW 3	S 3	WNW 4	NW 2	W 4	WNW 6
11	NNE 2	NE 2	SSE 4	ENE 3	ENE 1	SE 3	SSW 1	SE 3	WSW 4	WSW 3	SE 3	W 5	ENE 10	ENE 11
12	E 2	SSE 2	SE 4	S 4	SE 3	SE 2	ENE 2	W 2	SSE 2	SSW 4	WNW 2	W 4	WNW 6	NNE 7
13	S 2	NE 3	N 1	W 3	SSE 3	SE 5	NE 2	SSE 4	ESE 2	SW 5	SSW 4	N 5	ENE 8	N 12
14	N 4	N 3	ESE 2	ENE 2	NE 2	NE 5	SE 3	E 4	SSW 5	SE 2	NW 4	NNE 7	NW 7	N 5
15	SE 2	ESE 3	N 1	SW 2	ESE 3	WNW 2	E 9	SE 5	S 2	WSW 4	SW 2	NNW 5	N 6	N 8
16	SSE 3	WNW 2	NE 2	ENE 3	NNE 2	NE 2	NNE 3	N 4	N 4	WNW 2	W 3	WNW 3	N 7	NNE 4
17	ENE 2	E 3	N 5	CLM 0	W 4	ENE 3	NE 2	SE 2	NNE 2	NW 3	SSW 3	ENE 2	WNW 5	N 10
18	NNE 5	N 6	N 5	N 4	N 3	NE 3	E 2	NNE 3	NE 3	N 3	NW 4	NW 3	NNE 6	N 10
19	N 5	NE 3	N 3	NNE 2	N 2	N 3	N 5	NNE 3	NNE 4	N 5	N 5	N 4	NW 5	NNW 9
20	N 4	N 5	N 9	NNE 6	NE 4	NE 3	N 3	NNE 1	W 3	SSE 2	SW 4	SW 4	W 5	NNW 5
21	E 2	N 3	N 3	N 4	E 2	ESE 4	ENE 2	NNE 2	W 1	WSW 3	W 4	WNW 2	WSW 10	N 12
22	N 4	N 4	N 3	NNW 2	NNE 3	NNW 2	CLM 0	NE 2	CLM 0	NW 4	NNW 3	NNW 4	NW 7	NNW 10
23	NNE 2	NE 3	N 4	ESE 2	NE 2	ENE 1	E 3	SSE 4	S 5	W 2	WNW 4	NW 4	NW 5	NNW 10
24	ESE 4	N 5	NNE 3	N 5	SE 2	ESE 2	NNE 3	ESE 5	W 2	E 2	NW 3	ESE 3	NW 6	NNW 11
25	ENE 3	N 4	NE 3	SSE 2	N 5	NNW 2	NE 2	NE 2	ESE 2	N 2	N 5	NW 3	N 7	N 10
26	N 5	NNW 2	NNE 3	N 2	N 3	NE 1	SE 1	NNE 4	NE 2	N 3	NW 4	NNW 6	N 6	NW 8
27	NE 2	S 1	ENE 3	ENE 2	ESE 4	SE 3	S 3	SSW 2	SW 3	E 3	WSW 4	ENE 2	SSW 4	WSW 7
28	SSE 2	ESE 4	ESE 3	SSE 3	SSE 3	E 4	SSE 6	SSE 3	SSE 3	W 2	NNW 7	NNE 10	NE 9	NNE 13
29	SE 2	NNE 2	E 3	NNE 3	NNE 2	SE 3	NNW 1	ESE 4	SW 3	NNW 2	NW 5	NW 5	S 11	S 5
30	ENE 2	NE 5	N 3	N 3	ENE 2	SSE 3	ESE 3	ENE 2	N 2	S 4	NW 5	E 9	SSE 6	SSE 7
31	N 4	SE 2	SSE 3	NE 3	W 3	SE 3	S 2	S 2	S 3	WNW 3	WNW 3	NNW 5	E 5	NE 5
Suma	94	99	98	85	88	80	82	91	83	94	113	131	190	255

**DIRECCION GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONÁUTICA**  
**SECCIÓN CLIMATOLOGÍA**

**AEROPUERTO:** QUITO

**MES:** DICIEMBRE

**AÑO:** 2013

**LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO**

																					DIARIA									
Día/Hrs.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Día / Hrs.	SUMA	MEDIA	MÁXIMA																
1	NNW	14	N	19	N	16	NNE	12	NNE	10	NNE	10	NNE	5	NE	3	SSE	2	SSE	2	1	138	5.8	NNW	23					
2	N	17	N	17	N	17	N	12	NNE	9	NNE	9	NNE	6	NNE	5	NNE	4	NNE	4	2	150	6.3	N	25					
3	WSW	3	N	8	N	11	N	17	NE	4	NE	4	NNE	3	ESE	3	E	2	CLM	0	3	88	3.7	N	22					
4	NNW	11	N	13	NNW	13	N	14	N	5	N	5	NE	4	ENE	3	NE	5	NNE	6	4	117	4.9	N	20					
5	N	14	NNE	14	N	14	NNE	8	NNE	8	NNE	8	NE	6	N	7	E	2	N	6	5	141	5.9	NNE	21					
6	N	15	N	18	N	17	NNE	11	N	10	N	10	NNE	7	N	5	NE	3	NNE	3	6	146	6.1	N	27					
7	N	14	N	13	N	14	N	12	NNE	10	NNE	10	SW	4	NW	2	NNE	2	NNW	3	7	132	5.5	N	21					
8	N	8	N	7	N	9	N	9	N	6	N	6	N	4	N	4	N	5	N	3	8	117	4.9	N	15					
9	NNE	7	N	9	N	5	N	6	NNE	5	NNE	5	NNE	4	NE	4	N	3	NNE	2	9	109	4.5	N	12					
10	NW	7	NW	5	NNW	10	NNW	9	NNE	6	NNE	6	SW	1	N	3	NE	5	NNE	4	10	95	4.0	NNW	14					
11	NNE	7	S	9	NE	13	NNE	10	N	9	N	9	NNE	1	NNE	3	NNE	6	NNE	4	11	126	5.3	ENE	19					
12	N	11	N	12	N	14	NNE	6	NNE	8	NNE	8	NE	7	NNE	4	CLM	0	NE	3	12	119	5.0	N	17					
13	N	19	N	17	N	12	N	12	N	8	N	8	N	6	N	6	N	5	NNE	5	13	157	6.5	N	25					
14	N	12	N	18	N	17	N	11	NNE	8	NNE	8	NNE	7	N	3	N	3	N	3	14	145	6.0	N	24					
15	E	6	NNE	14	N	13	N	13	NNE	11	NNE	11	NNE	6	NNE	6	ESE	2	ENE	4	15	140	5.8	NNE	22					
16	N	11	N	15	N	17	NNE	11	NNE	10	NNE	10	NNE	4	NNE	3	N	6	NNE	4	16	135	5.6	N	23					
17	N	11	N	11	N	11	N	11	N	7	N	7	N	5	N	3	N	4	N	7	17	123	5.1	N	16					
18	ENE	5	N	11	N	11	N	11	N	8	N	8	N	4	N	3	NNE	4	NE	2	18	127	5.3	N	17					
19	NNW	11	N	13	N	13	N	12	N	10	N	10	N	6	N	4	N	3	N	6	19	146	6.1	N	20					
20	N	16	N	13	N	13	N	12	N	8	N	8	N	5	N	5	NNE	3	N	2	20	143	6.0	N	22					
21	N	17	N	14	N	15	N	14	N	10	N	10	NNW	6	N	8	N	5	N	4	21	157	6.5	N	22					
22	NNW	14	N	17	N	16	N	14	N	10	N	10	N	7	NNE	6	NNE	4	E	4	22	150	6.3	N	23					
23	NNW	18	N	15	N	16	N	13	N	9	N	9	NNE	4	NNE	4	N	5	NNE	3	23	147	6.1	N	23					
24	N	12	N	15	N	17	N	15	N	11	N	11	NNE	4	N	8	N	4	N	3	24	156	6.5	N	22					
25	N	18	N	17	N	14	N	12	NNE	8	NNE	8	N	8	NE	2	N	7	N	2	25	148	6.2	N	23					
26	N	13	WSW	15	N	17	NNE	12	N	12	N	12	N	6	NNE	4	NNE	4	N	5	26	150	6.3	N	23					
27	E	6	N	9	N	12	N	9	NW	9	NW	9	S	3	E	2	E	4	S	2	27	108	4.5	N	16					
28	NNE	5	ENE	11	NW	8	NE	7	ENE	3	ENE	3	WNW	4	WNW	5	S	2	SE	3	28	123	5.1	NNE	22					
29	N	13	N	15	N	16	N	14	N	13	N	13	NNE	3	E	3	NE	3	NE	3	29	147	6.1	N	21					
30	E	10	E	12	ESE	10	N	14	NNE	12	NNE	12	N	7	NNE	2	NNE	6	NNE	3	30	144	6.0	E	20					
31	N	14	N	10	N	19	N	19	N	11	N	11	NNE	5	N	3	ENE	2	ESE	1	31	141	5.9	N	26					
Suma															359	406	420	362	268	268	152	126	115	106	Suma	4165	173.5	*** **		

**DIRECCION GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONÁUTICA**  
**SECCIÓN CLIMATOLOGÍA**

**AEROPUERTO:** QUITO **MES:** ENERO **Año:** 2014

**LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO**

Día/ Hrs.	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
1	E 2	EN E 2	SS E 2	EN E 2	WN W 2	E 2	S 3	SE 4	S 6	S 4	WS W 4	WN W 4	S 7	EN E 5
2	NE 3	ES E 3	ES E 3	S 3	SSE 2	SSE 3	S 2	NE 3	EN E 2	S W 1	WS W 2	NW 3	N 8	N 10
3	N 4	CL M 0	NN W 0	NE 2	E 2	S 3	CL M 3	ES E 0	EN E 2	N 2	N 4	NE 5	N 4	N 8
4	N 3	NE 2	NN E 2	NE 2	NN W 2	NN E 3	WN W 2	SE 3	E 4	SS W 3	S 2	WS W 2	WN W 3	NN E 3
5	NN E 3	NN E 4	NE 4	1 WN W	2 CL M	0 SE 1	S 1	SE 2	SS E 2	E 2	NN W 2	8 NW 4	NN W 8	N 10
6	NN E 4	N 2	NE 2	N 3	E 2	NN E 1	NE 1	NE 3	ES E 1	N W 3	NN W 3	NW 4	N 10	N 11
7	NN W 2	NN E 6	EN E 4	N 2	W 2	N 3	NE 1	S 2	W 2	W 2	N 4	NE 4	N 7	N 9
8	N 4	NN E 2	N 2	N 2	NN E 2	N 3	WN W 2	NE 4	CL M 2	0 W 3	WS W 2	NN W 3	N 5	NN W 12
9	N 6	N 3	N 3	CL M 0	SS W 3	SSE 1	NN W 2	SE 5	SW 3	S 2	E 1	WN W 4	N 6	NN W 10
10	NE 2	N 2	N 2	ES E 1	CL M 0	CL M 0	NE 3	NN E 2	N 2	N 2	SSE 1	N 4	NE 5	NN W 6
11	N 4	ES E 2	CL M 0	S 2	NE 2	N 2	EN E 2	N 3	SW 2	W 2	W 1	WS W 2	ES E 3	E 4
12	CL M 0	NN E 3	N 2	NE 2	EN E 2	NW 3	SS W 2	ES E 2	S 1	N 1	WN W 2	EN E 4	N 4	S 3
13	E 3	WS W 2	SS E 2	WS W 3	EN E 2	S 2	S 3	SE 2	SS W 4	SS W 4	W 3	NW 4	W 4	N 6
14	N 6	NN E 1	NN E 2	W 2	CL M 0	SSE 2	NE 2	SS E 2	S 3	SS W 5	SS W 3	N 8	N 5	N 7
15	N 1	NN E 2	SE 2	SE 2	SE 3	CL M 0	SSE 5	SE 3	SW 3	N 4	N 3	N 4	NN W 5	W 3
16	NE 1	NE 3	E 3	EN E 4	N 3	SE 4	ES E 4	E 4	WS W 2	S 5	SW 5	SW 3	NN W 4	WS W 4
17	NE 3	E 3	N 3	N 4	NE 1	N 2	CL M 2	SE 3	NN E 3	N 5	WN W 3	NN W 4	N 8	NN E 5
18	NN E 2	N 2	E 2	E 2	SE 2	ES E 3	ES E 3	EN E 3	SE 4	SE 3	N 6	N 7	N 5	NN W 5
19	NE 2	NN E 2	ES E 3	SE 2	CL M 0	ES E 3	ES E 4	SE 4	S 4	S 4	WS W 3	NW 4	N 9	NN W 10
20	EN E 2	NN E 2	NN E 2	NE 4	W 2	NN W 2	EN E 2	SS W 3	SS E 3	N 2	S 3	N 5	NN W 9	N 18
21	N 7	N 5	NN E 3	E 2	N 3	NE 3	SS W 2	SE 3	SE 2	S W 4	NN W 3	WN W 3	NN E 6	N 8
22	N 4	NN W 2	W 2	NE 3	NN E 2	NN E 4	NN E 3	N 5	N 2	N 3	NN W 6	N 9	N 8	NN E 7
23	N W 2	EN E 2	NN E 3	CL M 0	E 2	EN E 2	NN E 3	S 1	SE 3	W 2	WS W 5	N 4	NW 5	E 4
24	N W 3	S 2	NN E 3	NE 2	S 2	SE 3	SSE 2	NE 3	NE 2	S W 4	WS W 4	N 4	N 10	N 11
25	NN E 3	NE 3	NN E 3	SW 1	E 2	CL M 0	E 3	CL M 0	W 3	W 6	SSE 2	NE 4	N 8	N 9
26	SW 5	S 6	EN E 5	EN E 4	N 2	ES E 3	SSE 5	SE 5	SE 2	W 2	NN E 5	NN W 5	W 4	NN W 6
27	N 3	ES E 2	SW 2	NN E 2	ES E 1	NN E 2	SS W 3	SE 3	SS W 3	S W 4	SS W 3	W 2	NN W 5	N 7
28	NN E 3	NN E 2	NN E 3	NN W 2	EN E 2	WN W 2	NE 2	S 1	E 1	S W 3	NE 4	NN W 3	N 7	N 13
29	N 10	SE 3	WS W 3	S 2	NW 3	N 3	N 1	N W 2	SW 2	S W 2	NW 3	WN W 4	N 7	N 7

30	N	3	N	2	NN E	2	NE	2	NE	2	N	3	N	3	NN W	3	S	2	W	2	N	6	N	7	N	8	N	1
31	N	4	WN W	2	NN E	2	EN E	3	E	2	SE	4	EN E	4	SW	2	N W	2	E	4	NW	4	NN W	5	N	5	NN W	1
Suma		104		79		75		68		60		69		80		85		77		95		111		133		197		243
Med		3,4		2,5		2,4		2,2		1,9		2,2		2,6		2,7		2,5		3,1		3,6		4,3		6,4		7,8

**DIRECCION GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONAÚTICA**  
**SECCIÓN CLIMATOLOGÍA**

Año: 2014

**AEROPUERTO:**

QUITO

**MES:**

ENERO

**AEROPUERTO:**

QUITO

**LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO**

Día/ Hrs.																		DIARIA							
	14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		Día / Hrs.	SUM A	MED IA	MÁXI MA	
1	WS	8	N	1	N	1	N	1	N	1	N	1	NE	6	WN	5	ESE	3	NE	4	1	1 31	5, 5	N	1 7
2	NN	1	NN	0	NN	1	N	8	NN	1	NE	8	N	5	WN	5	N	4	N	5	2	1 37	5, 7	NN	2 2
3	N	9	N	9	N	1	N	1	N	1	NE	6	N	8	NE	5	N	6	N	6	3	1 36	5, 7	N	1 9
4	N	0	N	7	N	1	N	0	N	1	N	8	NE	6	NN	6	NN	2	N	6	4	1 18	4, 9	N	2 0
5	NN	1	N	1	N	1	NN	1	NN	8	N	7	NN	4	N	4	NN	4	N	4	5	1 25	5, 2	NN	1 8
6	N	8	NN	4	WN	4	NN	2	N	6	N	4	CL	0	WN	2	EN	1	CL	0	6	8 1	3, 4	N	1 5
7	SE	1	NN	5	WN	5	N	6	NN	5	N	2	N	3	N	6	N	6	N	5	7	9 4	3, 9	N	1 2
8	N	1	N	1	NN	8	ES	3	NE	4	E	4	N	2	CL	0	WN	2	NN	9	8	9 8	4, 1	NN	1 7
9	N	1	N	3	N	1	N	9	N	9	N	6	NN	4	NE	3	E	1	NE	3	9	1 20	5, 0	N	1 8
10	NN	9	N	8	S	9	SE	6	EN	4	N	6	NE	3	NE	3	CL	0	S	2	10	8 2	3, 4	S	1 4
11	S	7	NN	1	NN	1	ES	7	EN	4	N	7	NE	4	N	4	NE	4	E	2	11	9 9	4, 1	NN	1 8
12	NN	1	N	1	N	1	NN	1	NN	9	NE	4	NN	3	NN	6	E	2	S	3	12	1 16	4, 8	N	2 7
13	N	1	N	1	N	1	N	1	NN	7	NE	5	NN	5	NE	5	N	6	NN	5	13	1 41	5, 9	N	2 4
14	N	8	N	1	N	1	N	9	EN	6	N	5	NN	6	N	3	N	5	NN	2	14	1 25	5, 2	N	2 2
15	N	1	N	1	N	1	N	0	NN	6	N	7	NN	5	NN	3	N	8	CL	0	15	1 27	5, 3	N	2 4
16	N	1	N	1	N	1	N	1	NN	1	N	7	N	4	NE	4	NE	3	E	5	16	1 40	5, 8	N	2 5
17	N	1	NN	1	N	1	N	1	NN	9	NE	5	NE	6	NE	4	NE	4	NE	2	17	1 39	5, 8	N	2 3
18	NE	6	N	9	N	9	N	1	NN	1	N	8	NN	5	E	4	E	2	W	2	18	1 20	5, 0	NN	1 7
19	N	1	N	1	NN	8	NN	1	NN	7	N	7	NE	5	N	5	N	4	N	4	19	1 27	5, 3	N	1 6
20	N	1	N	1	N	1	NN	8	NN	8	N	5	NN	8	N	5	W	2	NE	3	20	1 43	6, 0	N	2 4
21	NN	1	N	1	N	1	NN	1	NN	1	N	6	N	8	N	5	N	7	NN	3	21	1 56	6, 5	N	2 4
22	NN	1	N	1	N	1	N	8	NN	4	N	4	NN	3	NN	6	N	4	NN	2	22	1 32	5, 5	NN	2 1



23	N	1 5	N	1 5	N	1 6	NN E	1 4	NN E	1 2	N	8	NN E	3	NN E	3	N	3	E	5	23	1 32	5, 5	N	2 3
24	N	1 6	N	1 8	N	1 8	N	1 2	NN E	1 1	NE	6	NN E	5	N	4	N	5	ES E	3	24	1 53	6, 4	N	2 5
25	N	1 5	N	1 7	N	1 7	N	1 5	NN E	7	N	8	N W	7	N	5	NE	3	SS W	1	25	1 42	5, 9	N	2 4
26	NN W	1 2	NN W	1 4	N	1 3	NN E	1 1	N	1 1	N	7	N	6	NN E	5	N	6	NN E	4	26	1 48	6, 2	NN W	2 0
27	NN W	1 5	N	1 8	N	1 4	N	1 4	N	1 0	NE	7	N	6	N	6	N	5	NN E	4	27	1 41	5, 9	N	2 4
28	N	1 8	N	1 8	NN E	1 3	N	1 2	N	1 2	N	1 1	EN E	4	WN W	5	ESE	3	NN W	6	28	1 50	6, 3	N	2 5
29	N	1 5	N	1 6	N	1 5	N	1 2	N	1 1	N	9	N	7	N	5	NN E	4	NE	1	29	1 47	6, 1	N	2 1
30	N	1 5	N	1 8	N	1 3	NE	9	NN E	1 0	N	5	NN E	3	N	3	NN E	3	NN E	4	30	1 40	5, 8	N	2 5
31	N	1 2	N	1 6	N	1 6	N	1 1	NN E	8	NE	7	NN E	4	NN E	5	NN E	2	E	3	31	1 37	5, 7	N	2 1
Suma		388		425		396		323		266		199		148		134		114		108	Suma	3 977	16 5,7	*** **	
Med		12,5		13,7		12,8		10,4		8,6		6,4		4,8		4,3		3,7		3,5	Med	1 28,3	5, 3	*** **	

**DIRECCION GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONÁUTICA**  
**SECCIÓN CLIMATOLOGÍA**

**AEROPUERTO:**

**QUITO**

**MES:**

**FEBRERO**

**Año:**

**2014**

**LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO**

Dia/ Hrs.	00		01		02		03		04		05		06		07		08		09		10		11		12		13	
1	NN E	3	NE	2	E	2	E	3	SS E	2	SE	3	SE	2	SSE	2	SS E	2	S	2	W	3	W N W	5	WN W	5	NN W	6
2	NE	3	CL M	0	N W N E	1	NE	3	EN E	2	ES E	4	SS E	2	ESE	3	SS W	5	WS W	3	SW	4	WS W	2	NE	7	N	1
3	NN E	4	NN E	4	N N E	5	NN E	3	CL M	0	NE	1	CL M	0	SE	3	S	2	SS W	3	SS W	2	N W	4	WN W	5	N	1
4	NN E	2	S	2	SE	2	N	3	N	4	N	1	NN E	3	ESE	2	W N W	4	N W	4	S	2	NN W	7	NW	7	N	1
5	SE	1	S	2	N	1	EN E	2	NN E	1	W	3	ES E	1	S	3	W	2	CL M	0	SE	1	NN E	3	NNE	5	N	6
6	E	2	E	2	E	2	W N W	2	ES E	3	S	2	E	4	WN W	2	SS W	4	SW	4	W	2	NN W	5	NW	5	N	1
7	E	3	SE	4	ES E	4	E	2	E	4	ES E	4	SW	1	SE	2	SE	1	SW	4	N W	3	WS W	4	NNE	7	N	1
8	NE	3	N	4	N E	4	N	3	W N W	3	SE	3	NN W	2	N	3	ES E	2	N W	4	NN W	3	NN W	2	NN W	7	N	1
9	NN E	3	N	5	ES E	2	S	3	EN E	2	SS E	3	NN W	2	E	1	NN W	3	N	2	W	3	NN W	8	N	1	NN W	1
10	NN W	3	E	2	N	4	W N W	2	SW	3	W N W	4	N W	3	E	2	S	4	ES E	2	N	4	N W	3	NN W	5	N W	7
11	N	3	N	4	E	3	ES E	1	NN W	2	S	2	SE	3	S	2	S	2	SS W	2	N W	2	N W	4	NN W	8	N	6
12	N	1	WS W	1	S	2	CL M	0	SE	3	SE	5	SE	5	ESE	5	SS E	4	SE	4	S	4	NN W	4	NN W	1	N	1
13	ES E	4	EN E	3	N	4	NN W	4	E	3	W N W	4	SS E	2	SSE	2	ES E	3	WS W	3	SS W	4	W	4	N	1	N	1
14	N	5	NN E	2	N	3	N	5	SW	2	N	5	NE	2	ESE	3	SE	3	WS W	3	SS E	4	N	6	NE	4	N W	6
15	SE	2	SE	4	N	3	E	3	W N W	4	S	3	S	3	CLM	0	W N W	4	S	2	S	2	N	3	NW	3	N	1
16	N	6	N W	4	N	5	W N W	2	W N W	3	SS E	2	SE	2	E	2	WS W	1	N	2	SS E	3	W	5	N	9	N	1
17	EN E	3	NN W	2	E	2	E	4	ES E	3	EN E	2	ES E	2	SSW	4	W N W	3	W	2	NN E	4	N	8	N	1	N	1
18	NE	3	W N W	3	S	2	CL M	0	EN E	2	SS E	5	SS E	2	ESE	5	W	2	W N W	3	NN W	6	N	8	N	1	N	1
19	N	4	N	5	N	2	N	3	N	3	N	4	NN E	4	S	2	NE	3	W N W	4	N	3	N	6	N	4	N	9
20	NN W	3	NE	3	N	3	NE	2	N	3	N	2	NN E	2	NE	3	W	3	W N W	2	NN W	5	NN E	5	NN W	7	N	4
21	EN E	1	N	4	N	4	N	3	NN E	2	S	1	E	1	NNE	3	ES E	2	N	1	N	3	NN E	5	N	5	N	9
22	NE	3	W	3	N	2	N	2	CL M	0	W N W	3	S	1	ESE	3	S	2	W	3	SS W	3	N	3	N	6	NN W	1
23	NN E	4	N	5	N	2	NE	2	N	2	N	3	N	5	NN W	3	S	3	WS W	3	NN W	5	NN W	5	NNE	3	N	4

24	N	3	NN W	4	N	3	N	2	NN E	3	EN E	2	E	2	N	3	W	2	EN E	2	W	2	N W	4	E	2	N	9
25	SS W	3	NN E	2	N	3	N	4	EN E	2	N	2	N	2	NNE	2	N	2	N	2	NN W	5	N	5	N	5	NN E	6
26	EN E	2	NE	3	E	2	W N	2	NN E	1	N	4	SE	4	NE	4	SS E	2	W	3	N	3	WS W	4	N	9	N	1 2
27	N	3	NE	2	E N	3	ES E	2	N W	3	EN E	2	NN E	2	SE	2	NE	4	W	2	WS W	3	NN W	5	N	1 4	N	8
28	NN E	3	N	5	N	6	S	2	SS E	2	SE	3	CL M	0	ESE	2	SS E	3	W	3	NE	4	N	5	N	7	NN W	1 2
Sum a		83		86		81		69		67		82		64		73		77		74		92		132		200		273
Med		3,0		3,1		2,9		2,5		2,4		2,9		2,3		2,6		2,8		2,6		3,3		4,7		7,1		9,8

**DIRECCION GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONÁUTICA**  
**SECCIÓN CLIMATOLOGÍA**

**AEROPUERTO:**

QUITO

**MES:**

FEBRERO

**Año:**

2014

**LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO**

Día/ Hrs.																					DIARIA				
	14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		Día / Hrs.	SUM A	MED IA	MÁXIM A	
1	NN W	1 1	N	1 7	N	1 8	N	1 3	N	9	N NE	9	NE	6	N NE	5	N	4	NE	2	1	1 36	5,7	N	2 4
2	N	2 0	N	1 7	N	1 5	N	1 4	N NE	8	N NE	8	NN E	4	N	4	N	4	N W	4	2	1 48	6,2	N	2 6
3	N	1 5	N	1 4	N	1 3	N NE	8	NE	6	E	2	N	4	N	3	N	3	N	2	3	1 16	4,8	N	2 4
4	N	1 5	N	1 8	N	1 2	N	5	ES E	4	SS W	5	E	4	W	2	ESE	4	NN E	2	4	1 27	5,3	N	2 5
5	NE	4	N W	6	WS W	3	N	7	N	8	N	7	NE	7	N NE	4	NN W	4	E	2	5	8 3	3,5	N	1 1
6	N	1 5	N	1 5	N	1 5	N	1 3	N	1 3	N NE	7	N	5	N	6	E	4	E	3	6	1 48	6,2	N	2 2
7	N	1 7	N	1 6	N	1 6	N	1 4	N	1 1	N	8	NN E	4	N NE	5	N	5	N	2	7	1 55	6,5	N	2 4
8	N	1 3	N	1 3	NN E	1 1	N	1 2	N	1 1	NE	7	NN E	5	N NE	6	NN E	5	NN E	3	8	1 39	5,8	N	1 8
9	E	6	N	1 6	N	1 7	N	1 2	N	1 1	N NE	7	N	6	N	3	NN E	3	NE	4	9	1 45	6,0	N	2 3
10	N	1 2	N	1 2	N	1 3	N	1 1	N	7	NE	6	NN E	5	NE	5	NE	5	NE	3	10	1 27	5,3	N	1 7
11	N	1 1	N	1 1	N	1 0	N	1 4	N NE	0	N NE	7	NE	4	E	4	NN E	5	N	8	11	1 28	5,3	N	1 8
12	N	1 5	N	1 7	N	1 8	N	1 3	N	1 1	N NE	8	N	6	N	5	E	3	NN W	7	12	1 64	6,8	N	2 2
13	N	1 6	N	1 8	N	1 4	N	1 1	N	7	N	6	N	6	N NE	5	N	5	N	4	13	1 63	6,8	N	2 4
14	N	1 9	N	1 9	N	1 4	N NE	0	S	8	ES E	3	SW	3	S	4	S	3	N W	3	14	1 39	5,8	N	2 6
15	N	1 5	N	1 7	N	1 6	N NE	2	N NE	9	N NE	8	NE	6	N NE	6	N	3	NN E	3	15	1 41	5,9	N	2 3
16	NN W	1 4	N	1 5	N	1 2	N	1 1	N NE	9	NE	3	N	5	N W	3	N	4	NN E	3	16	1 39	5,8	NN W	2 0
17	N	1 1	N	1 4	N	1 8	N	1 2	NE	5	N	6	N	5	N	3	E	3	NE	3	17	1 40	5,8	N	2 2
18	N	1 6	N	1 6	N	1 6	N	1 3	N	8	E	5	N	5	N	4	N	4	N	4	18	1 57	6,5	N	2 2
19	N	1	N	1	E	1	N	1	N	1	N	8	N	6	N	5	N	6	N	6	19	1	6,5	SE	2

		7		7		4	NE	1		1															57			4
20	N	1 3	N	1 4	N	1 6		1 2	N	1 0	N	6 NN W	8	N	7	N	4	N	7	20	1 44	6,0	N		2 1			
21	N	1 1	N	1 6	NN E	6	N	1 1	N	9	N	4 NE	7	N NE	3	N	3	N	3	21	1 17	4,9	N		1 9			
22	N	1 3	N	1 4	N	1 4	N	1 2	N	9	N	6 NN E NE	7	N	4	N	5 NN E	4	22	1 34	5,6	N		2 0				
23	N	1 2	N	1 3	N	1 0	N	9	N	9	N	5 NN E	5	N	5	N	3	N	1	23	1 21	5,0	N		1 8			
24	N	1 0	N	8	N	9	N	8	N	6	N	6 NN E	3	N	5	NE	3 NN E	2	24	1 03	4,3	N		1 4				
25	N	6	N	1 0	N	1 2	N	1 4	N	1 0	N	7 NN E NE	7	N NE	6	NN E	4	N	5	25	1 26	5,3	N		2 0			
26	N	1 3	N	2 0	N	1 4	N	1 1	N	1 1	N	7 NN E NE	5	NE	5	NN W	6	N	5	26	1 52	6,3	N		2 6			
27	NE	3	N	6	NN E	4	N	7	NE	4	NE	3 CL M	0	S	3	WN W	2	E	3	27	9 0	3,8	N		1 8			
28	N	1 0	NN W	1 5	NW	8	N NE	8	N	5	N NE	5	N	4 NE	3	N	4	NE	3	28	1 22	5,1	NN W		1 8			
Suma		353		404		358		308		239		169		142		123		111		101	Suma			3 761	15 6,7	*** **		
Med		12,6		14,4		12,8		11,0		8,5		6,0		5,1		4,4		4,0		3,6	Med			1 34,3	5,6	*** **		

**DIRECCION GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONAÚTICA**  
**SECCIÓN CLIMATOLOGÍA**

**AEROPUERTO:**

**QUITO**

**MES:**

**MARZO**

**Año:**

**2014**

**LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO**

Día/ Hrs.	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
1	N 3	NN E 3	N 3	N 4	N 6	NN E 3	NN E 2	NN E 1	SS E 2	CL M 0	W 3	W 3	N 3	N 6
2	NN W 2	S W 3	SW 2	SE 3	E 3	E 2	S 4	SS E 1	ES E 2	NN W 1	WS W 3	SS W 4	SS E 3	W 5
3	N 4	N 3	NN E 6	N 2	W N W 2	EN E 2	NE 2	W 1	CL M 0	W 2	N W 1	NN E 3	NN W 3	N W 5
4	W N W 3	NE 2	NE 2	W 1	NN E 2	NN E 1	EN E 3	W 1	E 2	W 3	SE 1	NN W 7	N 7	N 10
5	NN E 3	NN E 3	NN W 2	NN E 3	NE 3	N 5	N 3	N 3	N 4	NN E 2	N 4	N 3	NN E 5	NN W 7
6	NE 3	NN E 3	N 3	NN W 2	SS E 3	NN W 3	NE 2	CL M 0	ES E 4	N 2	N W 5	NN W 4	NE 5	N 7
7	NN W 6	N 4	N 2	EN E 3	NE 1	N 3	EN E 3	CL M 0	W N W 3	NN W 4	NN W 3	N 6	NE 7	N 9
8	N 7	N 6	NN E 4	N 6	N 5	N 3	NN E 2	NE 2	W N W 2	N 2	W 4	N W 5	N 8	N 10
9	N 4	N 4	NE 5	W N W 4	ES E 3	EN E 3	NN E 2	SW 2	SW 3	S 4	CL M 0	CL M 0	W N W 3	S W 2
10	SE 5	S W 2	CL M 0	SS E 4	ES E 4	SS W 2	SS E 3	S 4	WS W 2	W N W 4	W N W 4	W N W 3	N 6	NE 7
11	N 6	N 4	E 4	NN E 5	N 3	EN E 3	S W 1	SS W 2	WS W 2	WS W 3	N 2	N 2	NN W 7	NN W 14
12	W N W 3	EN E 3	NE 3	NN E 3	N 5	NN E 3	SE 3	WS W 4	N 3	N 4	N W 5	N 4	NN W 5	N 3
13	NN E 5	SS E 3	CL M 0	NE 4	N 4	NN E 5	N W 3	ES E 3	S 3	SS W 4	S 4	W N W 3	N 3	N 4
14	N 2	SE 3	N 2	N 3	EN E 3	W 2	CL M 0	N 7	SS E 1	SS W 4	SW 3	N 4	N 9	N 9
15	N 2	NN E 2	N 2	W 2	E 2	N 2	N 4	CL M 0	SW 2	N 3	NN W 6	N W 5	N 7	NN W 12
16	NN E 2	S 2	S 4	ES E 5	E 5	SE 2	SS E 2	SE 4	SS W 3	SE 2	W N W 2	N 4	N W 5	N 8
17	N 5	N 9	EN E 3	SE 3	SW 4	NN E 3	NN E 3	E 4	SS W 2	S 2	SE 2	N 4	NN W 5	N 5
18	EN E 3	CL M 0	CL M 0	NE 3	CL M 0	S 2	CL M 0	EN E 2	NE 2	W N W 2	S 2	N 3	N 3	NN W 6
19	N W 2	NN W 3	SS E 2	SS E 3	W 3	E 3	SE 2	E 3	CL M 0	W N W 2	EN E 2	NN E 5	N 6	N 6
20	N 5	E 2	EN E 2	W 2	SE 2	S W 2	CL M 0	W 2	W N W 3	CL M 0	W N W 3	N 7	N 7	NN W 4
21	NN E 4	NE 2	N 2	NN E 3	N 6	NN E 3	NE 2	N 3	NN W 1	W 2	W 2	N W 6	N 7	N 11
22	N 4	NN E 2	NE 1	NE 3	EN E 2	N 4	SS E 2	NN E 2	W 1	W 1	SSE 2	WS W 4	N 6	NN E 8
23	N 5	N W 1	E 5	EN E 2	N 5	W 2	EN E 1	ES E 4	ES E 2	S 2	N 2	W 3	N W 4	NN W 4
24	NE 4	NE 2	NN E 1	SE 2	ES E 2	E 2	NE 3	W 4	NE 4	N 2	WS W 3	NN W 2	N 5	N 8

25	EN E	3	ES E	2	S	2	S	2	SE	3	S	2	EN E	5	ES E	4	CL M	0	S	2	W	3	N	4	N	3	NN W	6
26	NN E	4	NN E	3	CL M	0	NN E	3	N	4	N	3	EN E	2	W	3	E	2	SS E	3	W	3	NN E	2	N	4	N	9
27	N	2	EN E	3	E	2	CL M	0	NN E	2	SS E	4	S	2	S	2	SS E	4	SS W	4	SS W	5	WS W	3	NN W	3	W	5
28	CL M	0	EN E	4	EN E	2	S	3	S	2	S	4	E	3	SS E	2	SS W	4	EN E	2	WS W	4	W	4	N	7	NN W	8
29	SE	2	NE	3	N W	5	SS W	3	NE	3	NN E	4	EN E	4	S	6	SS W	5	W	2	NN E	4	NN W	6	NN W	7	NN W	8
30	N	3	NN E	4	N	3	NN E	3	NN W	3	NN E	3	N	4	N	4	W N W	4	N W	4	N	8	N	1 0	N	1 4	N	1 4
31	E	4	SE	1	ES E	2	SE	2	SE	3	SS E	3	ES E	2	SE	3	WS W	3	SS W	3	S	5	W	3	NN W	7	N	1 2
Sum a	110	91	76	91	98	88	74	83	75	77	100	126	174	232														
Med	3,5	2,9	2,5	2,9	3,2	2,8	2,4	2,7	2,4	2,5	3,2	4,1	5,6	7,5														

**DIRECCION GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONÁUTICA**  
**SECCIÓN CLIMATOLOGÍA**

**AEROPUERTO:**

QUITO

**MES:**

MARZO

**Año:**

2014

**LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO**

Día/ Hrs.																					DIARIA				
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Día / Hrs.	SUMA	MEDIA	MÁXI MA											
1	NN W	1 5	ES E	5	S	1 0	ES E	3	NE	3	N	3	N	2	N	3	NN E	5	EN E	2	1	93	3,9	NN W	1 9
2	N	1 6	N	1 2	N	1 1	N	1 2	N	9	N	8	N	5	N	6	NN E	5	N	5	2	127	5,3	N	1 7
3	N	9	N	6	N	9	NN E	7	NN E	4	N	5	N	7	N	4	N	5	N	2	3	94	3,9	N	1 3
4	N	1 2	N W	8	NN W	1 1	N	4	N	6	N	6	N	7	NN E	5	NN E	5	N	4	4	113	4,7	N	1 7
5	N	1 1	N	1 0	N	1 3	NN E	1 0	NE	5	NN E	4	NE	4	ES E	3	SW	2	NE	4	5	116	4,8	N	1 8
6	N	1 0	N	8	N	8	N	1 0	N	9	N	9	NN E	4	NN W	5	E	3	N	5	6	117	4,9	N	1 6
7	N	1 3	N	1 5	N	1 4	NN E	9	N	1 0	N	5	N	6	N	6	N	6	N	6	7	144	6,0	N	2 3
8	N	1 3	N	1 5	S	1 1	SS E	6	W	4	NN E	4	N	5	N	8	NN E	6	N	3	8	141	5,9	N	2 0
9	N	3	N	5	N	7	N	7	NN E	2	W	2	S	2	SE	3	N W W	3	EN E	1	9	74	3,1	N	1 1
10	N	1 7	N	1 7	N	1 5	NE	8	NN W	8	W	4	NE	1	N	3	WS W	3	W	3	10	129	5,4	N	2 4
11	NE	1 2	NN E	8	N	1 0	N	9	N	9	N	8	N	5	E	2	NN E	5	NN E	3	11	129	5,4	NN W	1 9
12	NN E	5	N	1	N	1	N	1	NN E	1 0	NN E	4	NE	4	N	6	N	5	CL M	0	12	118	4,9	N	1 5
13	N	1 1	N	1 0	N	4	NN E	1	NN E	7	NN E	6	NN E	5	N	5	N W	4	NN E	4	13	125	5,2	N	1 7
14	N	1 0	N	1 4	NN W	7	NN E	1	N	8	NN E	4	N	7	N	5	NE	2	N	3	14	133	5,5	N	2 1
15	N	1 5	N	1 4	EN E	9	SE	5	WS W	2	SS E	3	S	7	SS W	2	EN E	4	N	9	15	121	5,0	N	2 0
16	N	9	N	1 1	N	8	N	1 1	N	9	N	3	NN E	3	NN E	2	N	5	NN E	5	16	116	4,8	N	1 6
17	N	8	N	7	NN E	4	N	6	NE	5	N	3	NN E	6	N	1	N	4	W N	3	17	101	4,2	N	1 0



**FUERZA AEREA ECUATORIANA**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONÁUTICA**  
**SECCIÓN CLIMATOLOGÍA**

**AEROPUERTO:**

QUITO

**MES:**

ABRIL

**Año:**

2014

**LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO**

Día/ Hrs.	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13														
1	SS E	2	S	4	E	4	E	4	ES E	3	S	3	E	6	SS E	2	N W	2	SS E	2	SW	4	WS W N W	4	W	3	SS W N W	6
2	E	3	SE	4	E	3	ES E	2	SE	2	SS E	3	SW	2	SS E	2	SS E	1	N W	2	W	5	W N W	2	WS W	5	W N W	3
3	ES E	2	E	2	NE	3	SE	5	EN E	1	N NE	2	SE	4	SE	4	SS W	2	W N W	3	W	4	SW	3	W	5	N	1 5
4	WS W	4	N	3	E	2	W	2	SS E	1	SE	3	SE	4	SS E	2	ES E	3	W	2	W N W	3	NN E	4	N	8	N	1 4
5	SS E	3	SS E	2	E	2	ES E	4	E	3	SS E	2	CL M	0	S	3	SE	4	W	3	S	3	NN W W N W	4	NN W	1 0	NN W	7
6	NN W	2	NN E	2	SE	4	N	2	S	3	SS E	3	SS E	4	CL M	0	NE	1	WS W	2	W N W	4	W N W	6	NN W	7	SS W	7
7	E	2	NN E	3	W N W	2	N	3	N	3	S W	2	N	5	E	4	W	2	SW	3	S	4	N	2	SW	5	S	1 7
8	ES E	4	EN E	3	EN E	2	N	3	SE	4	NE	3	EN E	2	W N W	2	S	3	NN E	2	NN W	3	W	5	W N W	4	SS W	4
9	NE	4	N W	4	E	5	ES E	5	S	2	SS W	2	ES E	2	W N W	2	WS W	3	NN E W N W	2	N	5	N	1 0	N	6	N	1 2
10	CL M	0	N	1	E	1	ES E	1	EN E	2	EN E	3	SE	1	SS W	2	S	4	N W W N W	2	E	2	W	4	N W	9	N	3
11	SW	1	E	1	S	2	S	2	SS E	3	SS E	5	ES E	2	S	4	S	2	SS W W N W	3	N W	3	NN W	4	NE	4	SW	7
12	NE	3	ES E	4	E	2	CL M	0	SE	3	ES E	3	SS E	3	SS W	3	E	1	W N W	2	W	4	EN E	3	NN W	7	W N W	7
13	SS E	3	SE	4	NN W	1	S	3	SE	1	SE	3	S	4	SS E	4	SS E	2	SW	2	SS W	3	SS W	3	W N W	4	W	2
14	E	4	NN W	1	SE	3	ES E	5	ES E	3	SE	2	SE	4	E	2	W	2	W N W	4	W	5	S	5	SS E	7	NN E	3
15	NN E	2	ES E	1	SE	2	E	2	E	2	S	2	E	2	SS E	2	SS W	4	SW	3	SW	4	NN W E	5	N	1 2	N	1 6
16	N	4	NN E	2	NN E	3	N	5	NN E	4	E	4	NE	2	SS W	3	S	4	WS W	3	WS W	4	EN E	3	E	3	N	5
17	EN E	3	CL M	0	E	3	SS E	2	CL M	0	CL M	0	SS E	2	S	3	SS W	4	WS W	3	W	4	W	3	NE	5	N	9
18	SS E	6	CL M	0	SE	4	SE	7	SS W	2	E	5	E	4	SS E	4	S	1	W	4	SW	2	W N W	4	SW	4	NN E	5
19	N	3	EN E	3	CL M	0	N	2	E	3	N NE	1	NN E	2	EN E	2	SE	2	CL M	0	W	4	NN E	4	SS W	3	E	7
20	E	3	NN E	2	N	2	NE	2	WS W	3	N	1	E	3	SS E	4	WS W	3	SS W	1	N	4	W	3	SE	5	N W	5
21	EN E	4	NE	1	EN E	1	N NE	2	CL M	0	E	1	CL M	0	SS E	3	W	2	W	2	SW	3	WS W	3	NN W	3	NN W	4
22	NE	3	N	4	NN W	3	N NE	2	W N W	3	NE	2	W	3	NE	3	N	5	N	3	SS W	3	NN W	5	SW	3	SE	3
23	W N W	3	N	2	WS W	3	N N W	2	NN W	2	N N W	3	NE	2	NN E	2	W N W	3	SE	2	WS W	3	NN E	3	N	9	NN E	5



24	EN E	1	NE	3	CL M	0	N	3	W N W	4	E	2	S	3	SE	3	SS E	3	SS W	4	SS W	5	SW	4	SW	3	SS W	5
25	ES E	4	SS E	4	SS E	2	SE	4	SE	3	ES E	3	S	4	NN E	1	WS W	3	S	2	W	3	NE	3	NN W	9	N	1 4
26	N	4	N	5	N	3	N NE	5	N	1	N NE	4	CL M	0	N W	2	NE	4	NN W	2	N	6	N W	6	N	4	N	5
27	NN E	6	NN E	3	NE	2	S W	2	SE	3	CL M	0	EN E	1	SS E	3	N W	2	NN W	2	N W	3	S	2	SS W	4	N W	5
28	SS E	7	ES E	3	ES E	4	SE	3	SS E	3	SE	5	ES E	3	S	4	SS W	3	W	3	SW	4	W	3	WS W	3	N	1 2
29	E	3	N W	3	ES E	3	SS E	1	NE	2	E	3	WS W	3	SS W	3	WS W	3	N W	2	WS W	2	SS W	3	SE	3	NN E	4
30	NN E	3	NN E	2	NN E	2	N NE	1	E	2	N	3	W N W	3	E	3	SS W	4	WS W	3	SE	1	N W	1	W	3	NN E	2
Sum a		96		76		73		86		71		78		80		81		82		73		107		114		160		213
Med		3,2		2,5		2,4		2,9		2,4		2,6		2,7		2,7		2,7		2,4		3,6		3,8		5,3		7,1

**FUERZA AEREA ECUATORIANA**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONAÚTICA**  
**SECCIÓN CLIMATOLOGÍA**

**AEROPUERTO:**

QUITO

**MES:**

ABRIL

**Año:**

2014

**LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO**

Día/ Hrs.																					DIARIA						
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Día / Hrs.	SUMA	MEDIA	MÁXI MA													
1	SS E	9	S	6	W N W	8	N W	1 3	N	1 4	N NE	8	EN E	5	NE	4	E	2	N	2	1	120	5,0	N W	1 8		
2	WS W	4	N	9	S	7	W	7	N	1 1	NE	7	NE	4	NE	7	NN E	5	N W	4	2	104	4,3	N	1 5		
3	N	1 1	WS W	4	NN E	8	N NE	9	NE	6	N	4	NE	2	EN E	4	N	4	N	3	3	110	4,6	N	1 9		
4	N	1 0	N	1 4	N	1 4	NE	2	NN E	9	N NE	3	N W	7	EN E	3	N	4	NN E	3	4	134	5,6	N	2 0		
5	NN W	9	N	1 3	N	1 6	N	1 2	N	1 2	N NE	7	NN E	6	N	5	S	1	N	3	5	134	5,6	N	2 3		
6	NE	5	N	1 4	N	1 6	N NE	9	NN E	8	NE	6	N	3	NN E	5	NN E	3	NN E	3	6	119	5,0	N	2 2		
7	S	8	WS W	4	NN E	3	N NE	6	N	7	S W	2	NN W	2	NN E	3	NE	3	E	3	7	98	4,1	N	1 1		
8	W	4	W	8	N	9	N W	5	W N W	1 0	N NE	5	N	3	SE	2	NE	4	EN E	2	8	96	4,0	WS W	1 3		
9	N	1 7	N	1 2	NN W	1 0	N	9	N	1 2	N NE	6	E	3	EN E	4	NE	4	SE	3	9	144	6,0	N	1 8		
10	N W	1 2	N	1 4	NN W	1 1	N W	8	NN W	9	N N W	8	CL M	0	NE	2	SE	3	ES E	5	10	107	4,5	N W	1 8		
11	NN E	5	NN E	6	NE	7	N N W	1 4	NN W	1 0	N	8	NE	4	E	3	EN E	5	N	3	11	108	4,5	NN W	1 9		
12	N	1 1	N	1 5	NN W	1 1	N	1 5	NN E	9	N NE	7	NN E	3	NE	4	SS E	2	SS E	2	12	124	5,2	N	2 0		
13	SS E	1 2	SS E	9	SS E	1 0	NE	4	EN E	6	N	1 0	NN E	6	NE	6	NN E	5	NE	2	13	109	4,5	E	1 9		
14	E	1 3	ES E	8	EN E	7	N	9	NN E	9	N NE	5	NE	5	NE	5	NE	4	SE	2	14	117	4,9	E	1 8		
15	N	1 5	N	5	N	1 0	N	1 2	N	5	NE	4	N	3	N	6	N	4	N	4	15	127	5,3	N W	2 1		

16	N	8	N	1	NN	9	NE	4	N	1	E	3	E	1	NE	4	NE	2	NE	2	16	103	4,3	N	1
17	N	1	NN	1	NN	6	N	8	N	6	SS	8	S	1	SS	4	N	4	SE	3	17	122	5,1	N	2
18	N	1	N	1	NE	9	N	1	NN	6	N	7	N	6	NN	4	NE	2	N	5	18	135	5,6	N	3
19	N	1	NN	1	NN	1	N	9	NN	8	N	6	NN	4	NE	6	NE	2	SS	3	19	110	4,6	N	0
20	N	1	NN	9	N	1	N	9	N	7	N	5	NN	5	NE	6	N	5	NN	2	20	114	4,8	N	1
21	E	4	N	1	N	1	N	1	NN	1	N	1	NN	6	NN	4	NN	5	N	3	21	110	4,6	N	9
22	N	1	N	1	N	1	N	1	NN	1	NE	7	EN	4	N	8	N	7	N	4	22	147	6,1	N	3
23	N	1	NN	7	N	9	N	1	N	8	N	4	N	4	N	5	NN	4	N	4	23	110	4,6	N	2
24	S	4	S	6	SS	5	N	3	NN	7	NE	7	EN	3	E	4	SS	2	S	4	24	88	3,7	NN	7
25	N	1	NN	1	N	1	N	1	NN	8	N	4	NN	4	N	5	NN	3	N	3	25	141	5,9	N	3
26	NE	5	N	1	NE	5	N	5	N	6	N	5	N	5	NN	5	N	5	N	6	26	109	4,5	N	7
27	N	7	N	1	N	1	S	3	SE	5	SS	2	S	5	E	6	ES	2	SS	3	27	91	3,8	N	4
28	N	7	N	1	EN	5	N	7	NN	6	N	3	N	2	NE	2	N	5	N	3	28	112	4,7	N	2
29	N	1	EN	3	WS	4	N	1	NN	9	NE	1	NE	7	NN	6	NN	4	SS	5	29	106	4,4	N	1
30	W	3	SE	1	N	4	N	8	N	9	N	5	N	4	ES	2	SE	3	SE	3	30	75	3,1	NN	1
Sum	a	294	295	280	267	252	176	131	134	108	97	Suma	342	142,	***	**									
Med		9,8	9,8	9,3	8,9	8,4	5,9	4,4	4,5	3,6	3,2	Med	114,	4,8	***	**									

**DIRECCION GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONÁUTICA**  
**SECCIÓN CLIMATOLOGÍA**

**AEROPUERTO:**

QUITO

**MES:**

MAYO

**Año:**

2014

**LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO**

Día/ Hrs.	00		01		02		03		04		05		06		07		08		09		10		11		12		13	
1	SS E	4	SE	3	CL M	0	EN E	4	S	2	SE	4	CL M	0	ES E	4	W N W	3	WS W	3	W	2	NN W	3	NN E	4	N	8
2	NN E	4	NN W	5	E	4	CL M	0	NN E	2	E	4	CL M	0	ES E	1	W	2	N	4	N	5	N	7	N	7	NE	2
3	N	2	E	2	NN E	2	E	2	ES E	2	NE	2	N W	3	E	2	S	4	SS W W W	5	SS W	5	EN E	2	S	3	WS W	4
4	NN E	3	N	4	NE	2	NN E	1	CL M	0	SS W	1	NN E	2	N	4	N	3	N W	3	N W	2	N	5	N	1 0	N	9
5	SE	4	ES E	4	CL M	0	SS E	4	SE	3	E	3	E	3	WS W	3	SS E	3	S	2	NN E W W	3	NN E W W	3	NN E	5	WS W	3
6	N	2	E	3	N	4	CL M	0	SE	3	E	4	SE	4	SS E	5	S	3	W	3	N W W	4	N W W	6	N	1 0	N	1 3
7	E	2	NE	2	N EN E	3	NE	2	W	1	W	2	S	2	SE	1	SE	4	SW	2	SSE NN E	2	W	3	NE	2	N	9
8	NE	2	N	3	EN E	2	N	4	NE	2	N	2	N	5	N	6	NE	5	NE	6	NN E	5	N	3	NE	2	N	2
9	NN E	4	NN E	2	E	2	S	1	SS E	2	SS E	2	SE	2	SE	3	S	5	SS W	4	S	4	S	2	SS W	2	EN E	2
10	W	2	CL M	0	WS W	3	SS E	3	S	2	SS W	4	SE	2	S	5	SW	4	SW	3	SS W	3	WS W	2	N W	3	NN W	9
11	N	3	E	3	W	2	N	4	NN E	2	NN E	2	E	3	EN E	2	SE	1	SS W	3	W	2	W	4	N	5	N	8
12	N	1 2	NE	9	N	2	SS W	3	S	4	SE	4	CL M	0	E	2	S	2	S	1	S	2	S	3	E	2	N	2
13	SS W	4	S	2	CL M	0	SS W	5	E	4	E	5	SS E	2	S	4	WS W	2	S	3	NN W	3	W N W	4	W	7	N	1 0
14	N	4	S W	2	NN E	2	EN E	1	W	2	NN E	3	EN E	1	CL M	0	W	4	N	6	W	5	N	3	SW	4	N W	7
15	W N W	2	CL M	0	E	2	CL M	0	N	3	E	3	E	2	ES E	1	S	1	S	2	SS W	3	SW	4	N W	3	N	9
16	NN E	4	NN E	3	CL M	0	CL M	0	E	1	SS W	2	CL M	0	SS E	3	S	2	S	2	SE	2	N W	4	NE	4	NN E	4
17	E	1	EN E	2	EN E	2	E	2	SE	5	SE	6	SS E	6	ES E	4	S	5	E	2	W	2	N	3	N W	6	NN W	5
18	NN E	3	N	4	CL M	0	NN E	2	S	2	CL M	0	CL M	0	E	2	CL M	0	NN W	3	N W	3	W	3	N	4	N	6
19	N W	3	SS E	1	ES E	2	SE	3	ES E	3	EN E	3	ES E	5	N	1	S	3	W	3	WS W	3	S	3	NN E	4	N	9
20	N	5	N	3	NE	3	N	4	W N W	3	N	5	W	3	NN E	2	N	3	N	4	N W	5	NN E	4	N	1 0	N	1 2
21	NE	2	E	2	E	2	CL M	0	S	3	ES E	3	CL M	0	SE	3	SS W	3	S	3	N	2	WS W	4	N W	4	NN W	3
22	SE	4	N	2	EN E	3	ES E	4	SS E	3	S	2	WS W	2	S	5	SW	5	N W	5	N W	4	NN W	9	NN W	1 1	NN W	1 3
23	SE	3	N	3	N	4	N	3	N	4	NN W	4	SS W	3	N	2	NN W	2	ES E	3	N	5	NE	3	N W W W	6	N	8
24	SS E	8	S	2	SE	2	ES E	4	S	4	SE	3	SS E	2	S	4	CL M	0	WS W	3	W	3	N W	5	N W	5	N W	5
25	N	3	NN E	3	N	2	SS E	4	SS E	2	ES E	2	CL M	0	NE	2	EN E	1	SS E	3	W	3	W N W	4	N	1 0	N	6
26	W	3	S	1	E	1	ES	2	SS	1	NN	2	SE	3	W	3	SS	5	SW	2	SS	4	EN	8	E	8	ES	8

27	NN E	4	NN E	4	N	2	E EN E	2	E	2	NE	2	E	3	SE	4	W SS E	2	SW	3	W SS W	4	E SW	3	SS W	4	S	4
28	SS W	3	CL M	0	NE	3	N	4	NN E	3	W	2	N	2	W	3	N W	1	SS W	3	SW	2	W N W	3	NN W	8	N	1 3
29	NE	2	W	2	NE	2	N	2	E EN E	2	NE	3	CL M	0	W N W	3	NN E	4	NN W	3	NN W	3	N	3	N	2	NN W	5
30	WS W	2	EN E	1	SS E	2	E	2	ES E	2	S	2	S	3	SE	2	SS W	2	WS W	4	W	4	W	2	N	6	NN W	7
31	CL M	0	N	1	N	2	NN E	2	E	3	S	1	W N W	2	NE	3	EN E	3	SS W	4	NE	3	N W	6	N W	6	W	5
Suma		104		78		62		74		77		87		65		89		87		100		102		121		167		210
Med		3,4		2,5		2,0		2,4		2,5		2,8		2,1		2,9		2,8		3,2		3,3		3,9		5,4		6,8

**DIRECCION GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGÍA AERONÁUTICA**  
**SECCIÓN CLIMATOLOGÍA**

**AEROPUERTO:**

QUITO

**MES:**

MAYO

**Año:**

2014

**LISTADO MENSUAL DE DIRECCIÓN-VELOCIDAD DEL VIENTO**

Día/ Hrs.																					DIARIA				
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Día / Hrs.	SUMA	MEDIA	MÁXI MA											
1	EN E	1 1	NN E	1 2	N	9	N	1 0	NN E	7	N	8	N	4	N	2	NN E	3	NN E	3	1	113	4,7	N	1 9
2	W	3	N	6	SS E	7	NE	4	NE	2	NE	4	NN E	5	EN E	3	N	7	NN E	4	2	92	3,8	N	1 0
3	NN W	4	NN W	5	N	8	N	9	NN E	9	N	7	NN E	6	NN E	6	N	2	CL M	0	3	96	4,0	N	1 2
4	N	1 2	N	1 1	N	1 0	NN W	6	N	8	N	5	NN E	4	EN E	1	NE	2	N	2	4	110	4,6	N	1 2
5	SW	4	N	1 2	N	1 3	NN E	9	NN E	8	N	1 0	N	4	NN E	2	NN E	3	ES E	1	5	109	4,5	N	2 0
6	N	1 5	N	1 1	N	1 3	N	9	NN W	8	N	4	N W	3	NN E	3	N	5	ES E	2	6	137	5,7	N	2 0
7	N	1 0	NN E	1 0	N	9	N	1 1	NN E	6	N	8	NN E	4	N	4	E	4	N	3	7	106	4,4	N	1 6
8	NN E	5	NN W	1 0	N	6	N	6	NE	5	NE	4	N	4	N	4	E	2	NE	3	8	98	4,1	NN W	1 2
9	N W	9	N	1 3	N	1 0	N	7	N	5	NN E	8	NN E	5	N	3	N	2	E	3	9	102	4,3	N	1 7
10	N	1 6	N	1 2	N	1 2	N	9	N	9	N	6	NN E	4	N	4	N W	3	N	4	10	124	5,2	N	2 0
11	NN W	1 0	N	1 3	N	1 2	NN E	9	NN E	8	N	7	N	5	NN E	1	N	4	NN E	3	11	116	4,8	N	1 8
12	SS E	3	EN E	5	N	1 2	NN E	5	NN E	5	NN E	6	NN E	6	EN E	4	SE	2	NN E	2	12	98	4,1	N	1 7
13	N	1 0	N	1 0	N	1 4	N	1 3	NE	8	NN E	7	N	6	NN E	5	N	4	NE	3	13	135	5,6	N	1 8
14	SS W	4	S W	5	N	1 0	NE	3	W N W	4	NE	7	N	6	EN E	4	S	2	SE	2	14	91	3,8	N	1 5
15	N	1 4	N	1 2	NN E	6	N	9	NN E	6	NN E	5	EN E	3	NN E	3	N	4	NN E	3	15	100	4,2	N	1 8
16	N	9	NE	8	NN E	9	N	1 0	NE	8	NE	5	N	5	N	5	N	5	EN E	2	16	97	4,0	N	1 5
17	N	1 4	N	1 6	N	1 7	N	9	N	1 0	N	5	NN E	4	NN E	3	N	2	N	4	17	135	5,6	N	1 7
18	NN W	1 0	N	7	N	9	N	1 2	N	9	NE	7	E	4	NN E	8	NN E	4	N	6	18	108	4,5	NN W	1 6

19	NN W	1 1	N	1 3	N	1 0	N	1 3	N	1 1	NN E	5	NN E	7	NE	4	NN W	6	N	5	19	131	5,5	N	1 8
20	NN E	1 0	N	1 3	N	1 2	NN E	9	NN E	1 0	N	7	NE	4	NN E	4	N	4	NE	2	20	141	5,9	N	1 8
21	NE	4	N	1 3	N	1 1	N	1 0	N	1 2	NE	6	NE	5	NE	4	ES E	2	EN E	3	21	104	4,3	N	1 7
22	N	1 2	N	1 3	NN E	1 2	N	9	N	1 0	NE	5	N	5	NN W	6	NN E	2	NN E	5	22	151	6,3	N	1 6
23	N	1 4	N	1 5	N	1 3	N	1 1	NE	6	N	1 0	NN E	6	NN E	5	N	5	N	2	23	140	5,8	N	2 2
24	NN W	1 2	NN W	1 4	NN W	1 6	NN W	1 5	NN E	8	NE	7	N	7	NN E	3	NE	7	EN E	3	24	142	5,9	NN W	2 1
25	W	1 1	NN W	1 6	N	4	E	2	NN E	5	NN E	5	NN E	5	NN E	5	NN E	4	NN E	2	25	104	4,3	NN W	2 0
26	SE	9	N	1 6	N	1 2	E	1 1	NE	8	NN E	8	NN E	6	NE	5	N	3	EN E	3	26	132	5,5	N	2 0
27	SW	4	N	6	N	1 0	N	1 0	N	9	NN E	6	NN E	6	EN E	4	N	5	NN E	3	27	106	4,4	N	1 4
28	N	1 0	N	8	N	9	N	1 0	NN E	5	NN E	5	NN E	4	NN E	3	NN E	4	NN E	4	28	112	4,7	N	1 7
29	N	7	N	9	N	8	N	6	N	5	NN E	6	NN E	4	NE	2	W N W	4	WS W	1	29	88	3,7	N	1 4
30	N	1 4	N	1 7	N	1 6	NN E	1 3	N	1 0	NE	6	N	2	NN E	3	NN E	4	EN E	3	30	129	5,4	N	2 2
31	N	1 1	N	1 4	N	1 1	N	1 0	NN E	7	NN E	7	NN E	3	NN E	5	W N W	2	N	6	31	117	4,9	N	2 0
Sum a		292		345		330		279		231		196		146		118		112		92	Suma	356 4		148, 5	*** **
Med		9,4		11,1		10,6		9,0		7,5		6,3		4,7		3,8		3,6		3,0	Med	115 ,0		4,8	*** **